

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA CHEMICKÁ

ÚSTAV CHEMIE POTRAVIN A BIOTECHNOLOGIÍ

FACULTY OF CHEMISTRY

INSTITUTE OF FOOD SCIENCE AND BIOTECHNOLOGY

ZASTOUPENÍ VYBRANÝCH PRVKŮ V LIDSKÝCH VLASECH

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

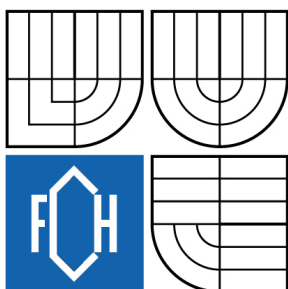
AUTHOR

Bc. EVA JOCHIMOVÁ

BRNO 2010



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA CHEMICKÁ
ÚSTAV CHEMIE POTRAVIN A BIOTECHNOLOGIÍ
FACULTY OF CHEMISTRY
INSTITUTE OF FOOD SCIENCE AND BIOTECHNOLOGY

ZASTOUPENÍ VYBRANÝCH PRVKŮ V LIDSKÝCH VLASECH

REPRESENTATION OF SELECTED ELEMENTS IN HUMAN HAIR

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. EVA JOCHIMOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. JANA ZEMANOVÁ, Ph.D.

BRNO 2010



Vysoké učení technické v Brně
Fakulta chemická
Purkyňova 464/118, 61200 Brno 12

Zadání diplomové práce

Číslo diplomové práce:	FCH-DIP0370/2009	Akademický rok: 2009/2010
Ústav:	Ústav chemie potravin a biotechnologií	
Student(ka):	Bc. Eva Jochimová	
Studijní program:	Chemie a technologie potravin (N2901)	
Studijní obor:	Potravinářská chemie a biotechnologie (2901T010)	
Vedoucí práce	Ing. Jana Zemanová, Ph.D.	
Konzultanti:	Ing. Eva Vitoulová, Ph.D.	

Název diplomové práce:

Zastoupení vybraných prvků v lidských vlasech

Zadání diplomové práce:

1. Vypracování literární rešerše se zaměřením na strukturu a složení lidských vlasů.
2. Navrhnout vhodnou metodu pro posouzení elementárního složení vlasů.
3. Vypracovat metodiku pro stanovení vybraných prvků a ověřit ji na reálných vzorcích.
4. Zpracovat naměřená data, vytvořit diskusi a vyvodit závěr.

Termín odevzdání diplomové práce: 14.5.2010

Diplomová práce se odevzdává ve třech exemplářích na sekretariát ústavu a v elektronické formě vedoucímu diplomové práce. Toto zadání je přílohou diplomové práce.

Bc. Eva Jochimová
Student(ka)

Ing. Jana Zemanová, Ph.D.
Vedoucí práce

doc. Ing. Jiřina Omelková, CSc.
Ředitel ústavu

V Brně, dne 1.12.2009

prof. Ing. Jaromír Havlica, DrSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Vlasy jsou výborná matrice ke sledování stopových prvků a minerálů v lidském těle. Až dlouhodobé změny v koncentraci prvků v organismu se odrážejí v jejich hodnotě ve vlasech, takže hodnocení minerálního stavu organismu analýzou vlasů je velice vhodnou metodou. Tato metoda je hojně využívána při toxikologickém vyšetření a v kriminalistice.

Tato práce se zabývá analýzou Mg, K, Fe, Zn, Mn, Se, As, Cd a Pb ve 100 vzorcích metodou ICP-MS. Jedná se o mužské vzorky vlasů s věkovým rozpětím 19 – 74 let. Analýzou vlasů bylo zjištěno, že hodnoty koncentrací jednotlivých prvků se pohybují v úzkém rozsahu hodnot. U vzorků starší věkové kategorie se hodnoty v některých případech značně vychylují.

ABSTRACT

Hair is an excellent matrix for monitoring trace elements and minerals in the body. To long-term changes in concentration of elements in the body are reflected in their value in hair, so the assessment of the organism from the mineral analysis of hair is a very suitable method. This method is widely used in toxicological testing and forensics.

This work deals with the analysis of Mg, K, Fe, Zn, Mn, Se, As, Cd and Pb in 100 samples by ICP-MS. It is a male hair samples with the age range 19 – 74 years. Analysis of hair revealed that concentrations of individual elements are moving in a narrow range of values. Values of older age category are in some case significantly deflected.

KLÍČOVÁ SLOVA

Vlasy, ICP-MS, AAS, hořčík, draslík, železo, zinek, mangan, selen, arsen, kadmium, olovo.

KEYWORDS

Hair, ICP-MS, AAS, magnesium, potassium, ferrum, zinc, manganese, selenium, arsenic, cadmium, lead.

JOCHIMOVÁ, E. *Zastoupení vybraných prvků v lidských vlasech*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2010. 76 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Jana Zemanová, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracovala samostatně a že všechny použité literární zdroje jsem správně a úplně citovala. Diplomová práce je z hlediska obsahu majetkem Fakulty chemické VUT v Brně a může být využita ke komerčním účelům jen se souhlasem vedoucího diplomové práce a děkana FCH VUT.

.....
podpis studenta

OBSAH

1. ÚVOD	7
2. SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY.....	8
2.1 Vlasy	8
2.1.1 Anatomie vlasu.....	9
2.1.1.1 Kutikula	10
2.1.1.2 Vlasová kůra (cortex).....	10
2.1.1.3 Vlasová dřevina (medulla)	11
2.1.2 Druhy vlasů	11
2.1.3 Odlišnosti a změny vlasů.....	12
2.1.3.1 Rasové a individuální odlišnosti vlasů	12
2.1.3.2 Změny spojené s věkem	13
2.1.3.3 Změny vlasů v souvislosti s ročním obdobím	13
2.1.4 Cyklus růstu vlasu	13
2.1.4.1 Anagen.....	14
2.1.4.2 Katagen	14
2.1.4.3 Telogen.....	15
2.1.5 Poruchy vlasového růstu – příčiny padání vlasů.....	16
2.1.5.1 Příčiny vypadávání vlasů	16
2.1.5.2 Vnitřní poruchy vlasů.....	16
2.2 Chemické složení vlasu	19
2.2.1 Stopové prvky	19
2.2.1.1 Jednotlivé stopové prvky	22
2.2.2 Toxické prvky	25
2.2.3 Makroelementy.....	27
2.3 Metoda ICP-MS.....	29
2.3.1 Princip metody	30
2.3.2 Popis zařízení	31
2.3.2.1 Transport vzorku do plazmatu.....	31
2.3.2.2 Ionizace v plazmatu.....	32
2.3.2.3 Převod iontů do vakua	33
2.3.2.4 Separace iontů v kvadrupólu.....	33
2.3.2.5 Detekce iontů.....	34
2.3.3 Omezující faktory.....	35
2.3.3.1 Salinita měřených roztoků.....	35
2.3.3.2 Vysoký ionizační potenciál	35
2.3.3.3 Tvorba dvojnásobně nabitých iontů	35
2.3.3.4 Izobarické překryvy.....	36
2.3.3.5 Polyatomické interference.....	36
2.4 Metoda Atomové absorpční spektrometrie AAS.....	37
2.5 Příprava vzorků.....	39
2.5.1 Metody přípravy vzorku pro měření ICP-MS	41
2.6 Statistické zpracování dat.....	42
3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	43
3.1 Odběr vzorků.....	45
3.2 Příprava a rozklad vzorků	45

3.2.1.1	<i>Přístroje a pomůcky</i>	45
3.2.1.2	<i>Chemikálie</i>	45
3.2.1.3	<i>Postup rozkladu a přípravy vzorku pro analýzu</i>	46
3.3	Instrumentální podmínky měření ICP-MS	47
3.3.1	Popis přístroje	47
3.3.2	Příprava kalibračních roztoků	47
4.	VÝSLEDKY A DISKUZE	48
4.1	Výsledky	48
4.1.1	Hořčík Mg	48
4.1.2	Draslík K	50
4.1.3	Železo Fe	52
4.1.4	Zinek Zn	54
4.1.5	Mangan Mn	56
4.1.6	Selen Se	58
4.1.7	Arsen As	60
4.1.8	Kadmium Cd	62
4.1.9	Olovo Pb	64
4.2	Diskuze	66
5.	ZÁVĚR	68
6.	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	71
7.	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	75
8.	PŘÍLOHY	76

1. ÚVOD

Vlasy slouží jako „indikátor“ zdravotního stavu. Pokud v těle chybí nějaký prvek nebo minerál, projeví se to nejprve na vlasech. Kupříkladu pokud v těle klesla koncentrace zinku, tak se to na vlasech projeví tak, že jsou roztřepené, slabé a více vypadávají. Jejich složení je stabilnější, a proto jsou vhodnou matricí ke zjištění zdravotního stavu, ještě lepší než je krev či moč.

Především se vlasy využívají k toxikologickým vyšetřením, k možnému posouzení znečištěného ovzduší a v kriminalistice. Jsou vhodné k zjištění konzumace drog a také jako důkazní materiál při prokázání otravy chemickou látkou. Toho se využívá i v archeologii, kde se prokazuje úmrtí ostatků dříve zemřelých lidí. Například se zkoumalo, zda byl Napoleon Bonaparte otráven arsenikem, nebo se analyzují vlasy egyptských mumii. K tomuto zkoumání se právě využívají vlasy, neboť se na těle dlouho zachovávají i se svým složením.

Na analýzu zastoupení stopových prvků, minerálů a toxických látek jsou vhodné metody AAS a ICP-MS. Metoda ICP-MS je rychlá a poměrně snadná metoda analýzy vlasů. Dokáže proměřit stopová množství látek ve vlasech a může najednou proměřit i více prvků, neboť je multielementární kvalitativní a kvantitativní metodou. Pro tyto metody je potřebné, aby byly vlasy před analýzou vhodně rozloženy. Vhodným rozkladem je rozklad pomocí kyseliny dusičné a peroxidu vodíku probíhající v mikrovlnné peci [1].

Cílem této práce je vypracovat literární rešerši týkající se struktury a složení vlasu. Vybrat vhodnou metodu a tu prakticky vyzkoušet na reálných vlasech.

Pro analýzu byly vybrány tyto prvky: hořčík, draslík, železo, zinek, mangan, selen, arsen, kadmium a olovo a jejich koncentrace byla proměřena na stovce vzorků vlasů metodou ICP-MS.

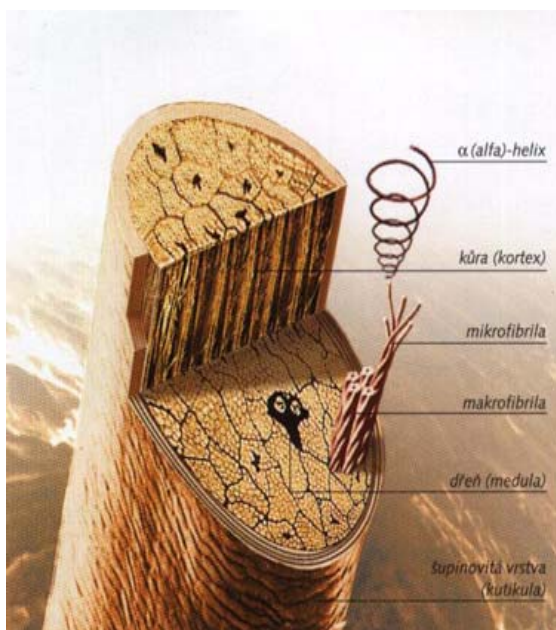
2. SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

2.1 Vlasy

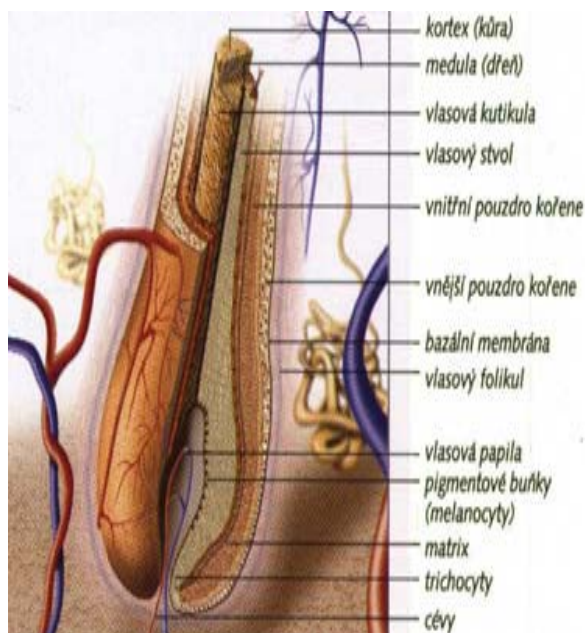
Věda zabývající se studiem vlasů se nazývá *trichologie*. Tato věda zkoumá vlivy fyzické, emocionální a vlivy okolního prostředí, které škodí vlasům a pokožce hlavy. Základním materiálem, tvořícím až 95 % suché hmoty vlasu, je elastická bílkovina zvaná *keratin*. Vysoká pevnost, tažnost a pružnost vlasu je podmíněna strukturou vlasu a uspořádáním vlasového *keratinu*. Vlas dále obsahuje vodu, stopové prvky, lipidy, další bílkoviny a melanin, který mu dává barvu. *Keratin* vlas posiluje a voda vlas hydratuje. Vlasy jsou poměrně pružné, mohou se natáhnout až o 30 % oproti své normální délce a vrátit se zpět. Další vlastnosti vlasů je jejich poréznost. Je to schopnost vstřebávat a udržovat vlhkost. Zdravý vlas je schopen vstřebat vodu o objemu až 50 % své hmotnosti. Jednotlivý vlas může nabobtnat až o 120 % svého normálního průměru. Při poškození vlasu ztrácí vlas ochranné vrstvy (**obr. 1**) a stává se vysoce porézním. U vlasu rozlišujeme jestli je neporézní, mírně porézní a nebo extrémně porézní.

Keratin vlasu je od přírody bezbarvý, teprve uložením melaninových granulí obsahujících barvivo dostává vlas svou přirozenou barvu. Čím více melaninových granulí se uloží, tím je vlas tmavší. Množství pigmentu je tedy rozhodující pro intenzitu barvy. Existují dva druhy melaninových granulí [2, 3, 4, 5, 6, 7]:

1. **Typ A:** jedná se o hnědo-černý pigment, zvaný *eumelanin*, který se vyskytuje převážně v tmavých vlasech. Přispívá k jasnosti barvy, tedy k její hloubce.
2. **Typ B:** tento pigment má žluto-červené zbarvení a je označován jako *phaeomelanin*. Vyskytuje se převážně u světlých vlasů a přispívá podstatně k barevnému odstínu, například k narudlému odstínu vlasů.



Obr. 1: Stavba vlasu na průřezu [8]



Obr. 2: Anatomie vlasu [8]

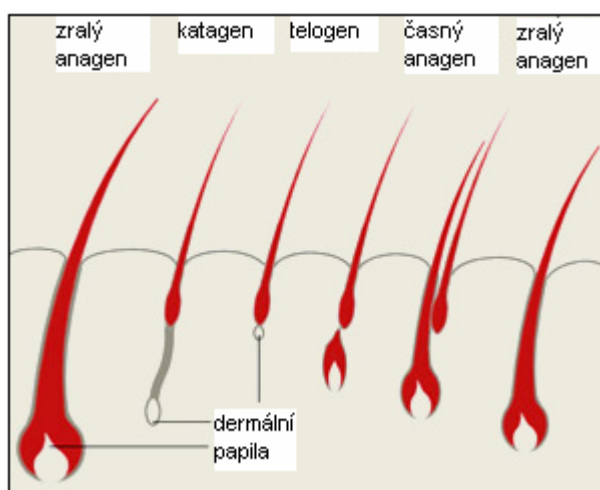
2.1.1 Anatomie vlasu

Vlas je tvořen vlasovým kořenem, který je uložen v kůži, a vlasovým stvolem (**obr. 2**), který se nachází nad kožním povrchem.

Viditelná část vlasu je tvořena mrtvou tkání. Jedinou živou částí vlasu je kořen, kožní papila, která je uložena pod povrchem kůže hlavy v trubičkovité jamce nazývané jako *folikul*. Vlasové folikuly můžeme najít na celém těle, kromě dlaní, plosek, volární strany prstů rukou a nohou, *glans penis* a vnitřní strany *prepučia* a vnitřní strany zevního genitálu ženy. *Folikul* není uložen v kůži vertikálně, ale je nakloněn. Spolu s mazovou žlázou tvoří tzv. *pilosebaceózní* jednotku [2, 9, 10, 11].

Vlasový *folikul* je tvořen invaginací povrchového epitelu, v dolní části je tento epitel rozšířen do cylindrického tvaru, který se označuje jako *bulbus*. Směrem k povrchu kůže se další část folikulu označuje jako kmen, *isthmus* (mezi úponem hladkého svalu – vzpřimovače vlasů a vývodem mazové žlázy) a *infundibulum*, kterým ústí na povrch kůže.

V dutině bulbu je uložena malá oblast *dermis*, označovaná jako dermální papila (**obr. 3**), která dodává vlasu výživu. Dermální papila je tvořena *mezenchymálními* buňkami, cévními kličkami a četnými nervovými zakončeními. Část bulbu přiléhající k dermální papile se označuje jako zarodečná *matrix*. Buňky *matrix* se intenzivně dělí, výše se diferencují a dávají vznik vlasu a vnitřní epitelové pochvě (mají vezikulovaná jádra a silně bazofilní cytoplasmu). Mezi buňkami *matrix* se nacházejí *melanocyty* [2, 9, 10, 11].



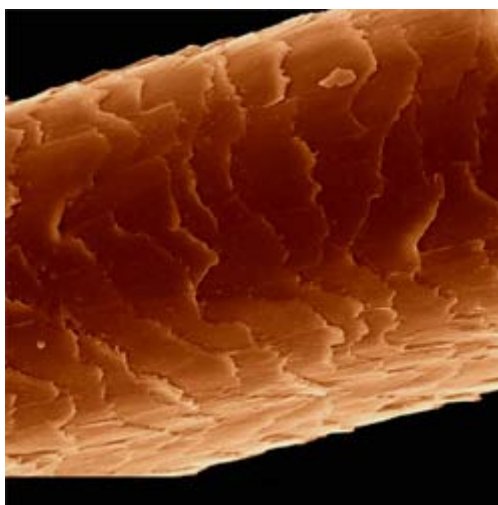
Obr. 3: Dermální papila a její vývoj během růstu vlasu [12]

K folikulu je upnut hladký sval – *musculus arrector pili*, který je schopný napřímit vlas a vytvořit tak tzv. „husí kůže“. Je součástí *pilosebaceózní* jednotky. Není přítomen u vousů, axilárního a pubického ochlupení. Je tvořen hladkou svalovinou, kde mezi svalová vlákna na jeho koncích penetrují elastická vlákna. Sval se upíná pod vývodem mazové žlázy. V některých oblastech kůže může do vlasového folikulu ústít také *apokrinní* žláza. Vývod *apokrinní* žlázy je umístěn nad vyústěním mazové žlázy [9, 10, 11].

Každý vlas se skládá ze tří vrstev: vnější vrstva se nazývá *kutikula*, pod ní se nachází kůra a třetí vrstvou je vlasová dřeň [2, 3, 4, 5, 6].

2.1.1.1 *Kutikula*

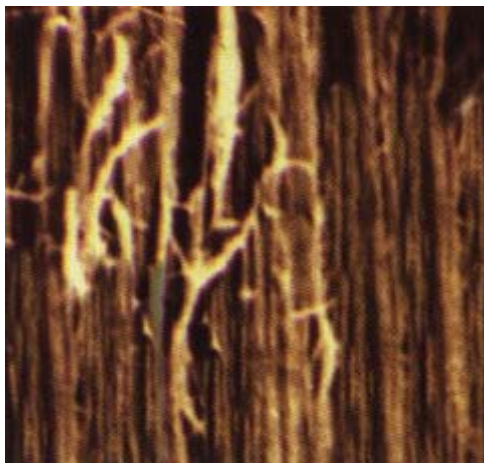
Je vnější šupinovitá vrstva obklopující vlas a má funkci ochranné bariéry proti mechanickým nebo chemickým vlivům z vnějšího prostředí (**obr. 4**). *Kutikula* vlasu je tvořena pěti až deseti překrývajících se vrstvami buněk, z nichž každá je silná asi 350–50 nm. Jednotlivé buňky se vzájemně překrývají a jejich volné okraje směřují ke konci vlasu. Struktura vlasu se přirovnává k střešním taškám nebo také k šupinám šišky. Pro každého jedince jsou šupiny charakteristicky profilovány a navzájem jsou spojeny tmelem obsahujícím aminokyseliny a lipidy. Když leží šupinky kutikuly rovně a řádně se překrývají, jsou vlasy hedvábně hladké a lesklé. Pokud se *kutikula* mechanicky nebo chemicky poničí, vlasy získají matný vzhled, lámou se a snadno se cuchají [2, 3, 4, 5, 6].



Obr. 4: *Kutikula* [13]

2.1.1.2 *Vlasová kůra (cortex)*

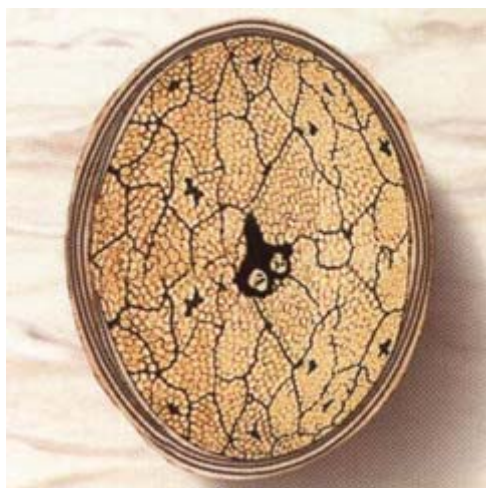
Tvoří převážnou část vlasu. Určuje tloušťku, pružnost a barvu vlasu. Skládá se z protáhlých buněk tvořících dlouhá vlákna, která jsou spojena mezibuněčným tmelem (**obr. 5**). Díky tomuto uspořádání je vlas elastický a pevný v tahu. Dlouhá vlákna se nazývají *makrofibrily*, které se skládají z jemnějších vláken nazývaných *mikrofibrily*. Pigmentované vlasy obsahují granuly melaninu, který je tvořen melanocyty ve dřeni [2, 3, 4, 5, 6].



Obr. 5: *Vlasová kůra* [14]

2.1.1.3 Vlasová dřeň (*medulla*)

Vlasová dřeň je kanálek, který se nachází v centrální části vlasu (**obr. 6**). Po celé délce vlasu bývá vytvořen jen v silných vlasech, v tenkých bývá přerušovaná nebo je přítomna jen v některých segmentech vlasu. U zvířat dřeň plní funkci zejména izolační, ale u člověka již tuto funkci ztratila. Nejspíše přispívá k lesku vlasů a slouží jako zásobník pigmentu [2, 3, 4, 5, 6].



Obr. 6: Vlasová dřeň [14]

2.1.2 Druhy vlasů

Základní je rozdělení vlasů na prenatální *lanugo*, postnatální *vellus*, intermediární a terminální vlasy. Druh vlasu tvořený daným *folikulem* může být změněn v souvislosti s věkem nebo vlivem hormonů. Tedy též vlasový folikul může produkovat během života člověka různé druhy vlasu [2, 9, 11].

Lanugo (**obr. 7**) představuje vlasy tenké, měkké, bez dřene a často bez pigmentu. Za fyziologických podmínek tento typ vlasů v 36. týdnu gestace vypadává. Po narození tvoří většinu vlasů a chlupů na těle *vellus*. Velusové vlasy jsou jemné, příležitostně pigmentované, nebývají delší než 2 cm, jsou bez dřene. Ve kštici se již po narození mohou objevovat intermediární vlasy (mezistupeň mezi vlasem velusovým a terminálním). Prvními terminálními, plně formovanými vlasy jsou řasy (*cilia*) a obočí (*supercilia*). Terminální vlasy jsou delší, hrubší, sytě pigmentované, často bývají se dřeni [2, 9, 11].



Obr. 7: *Lanugo* [15]

U starších dětí je pak postupně velusový vlas ve kštici nahrazován intermediárním vlasem, což způsobuje dojem větší hustoty *kapilicia*. V některých případech může být tato výměna rychlá a nápadná [2, 9].

Před pubertou je terminální vlas omezen na kštici, řasy a obočí. Po pubertě se vlivem hormonálních změn původně velusové či intermediární vlasy ve kštici mění na vlasy terminální. Změny ve kštici, i při této výměně, mohou být opět dosti nápadné, může se změnit jak tvar, tak také barva vlasů, obvykle také fyzikální vlastnosti, jako je pružnost, tažnost a pevnost [2, 9].

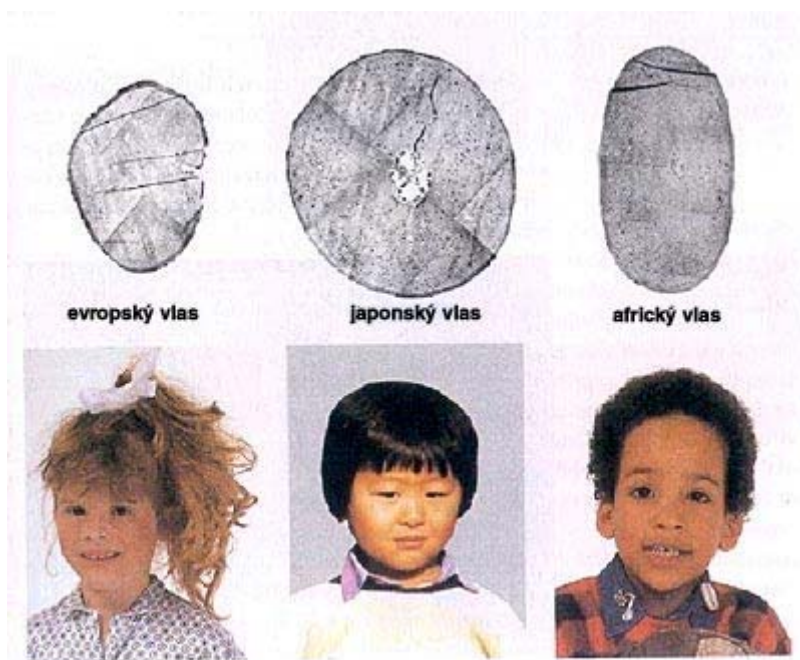
2.1.3 Odlišnosti a změny vlasů

2.1.3.1 Rasové a individuální odlišnosti vlasů

Mezi rasami i mezi jedinci jsou zjištěny široké genetické rozdíly v charakteru i množství vlasového růstu. Nejnápadnější rozdíly jsou patrné ve kštici. Černoši mají kudrnaté vlasy, u žluté rasy jsou vlasy silné a rovné a běloši mají řadu typů s různým stupněm zvlnění. Podle různých autorů je makroskopický vzhled vlasů dán jejich příčným průřezem.

Vlas u žluté rasy je nejsilnější a na průřezu je okrouhlý, u černochoů je vlas oválný a u bělochoů mírně elipsovitý a jemnější než u žluté rasy [9].

Jiné poznatky uvádějí, že tvar folikulu určuje tvar vlasu (**obr. 8**), černošský je spirálový, u žluté rasy zcela rovný a u bílé rasy se pohybuje mezi těmito extrémy, ale i rovný bělošský folikul může tvořit vlas s oválným příčným průřezem. Hypotéza, že tvar vlasů je řízen jen třemi či čtyřmi geny (rovné, zvlněné, spirálovité a silně vinuté) není v současnosti akceptován. Při posuzování množství vlasového porostu má žlutá rasa, ženy i muži, méně pubického, axilárního i celotělového ochlupení, také i méně vousů než běloši [9].



Obr. 8: Různé tvary vlasu [16]

Rozdíly jsou také v množství melaninu. Indické a čínské černé vlasy, které jsou bohaté na melanin, vzdorují fotochemické degradaci mnohem lépe než vlasy evropského původu s mírným, nízkým nebo dokonce žádným obsahem melaninu [17].

2.1.3.2 Změny spojené s věkem

V pubertě, jak již bylo zmíněno, terminální vlasy postupně nahrazují velusový typ vlasů, nejprve v *pubické* oblasti. U chlapců i dívek je první *pubické* ochlupení řídké, dlouhé, slabě pigmentované a převážně rovné. Později se stává tmavší, vinutější a rozšiřuje se. *Axilární* ochlupení se poprvé objevuje asi za 2 roky po začátku růstu pubického ochlupení. Vousy se u chlapců poprvé objevují zhruba ve stejné době jako *axilární* ochlupení, začínají v koutcích horního rtu, rozšiřují se mediálně až vzniká kompletní knír a pak se šíří na tváře a bradu. Množství terminálních vlasů se zvyšuje během doby sexuální dospělosti, ochlupení typického pro dospělého jedince není dosaženo dříve než ve 4. dekádě, kdy již o něco málo klesají hladiny androgenů [9].

Řada folikulů ve kštici však může s věkem regredovat, folikuly pak produkují jemné, krátké velusové vlasy. Tento stav je dědičný a vyžaduje přítomnost androgenních hormonů [9].

2.1.3.3 Změny vlasů v souvislosti s ročním obdobím

Existuje řada změn probíhajících v celé kštici v souvislosti s ročním obdobím. Pozoruje se zvýšení procenta telogenních vlasů ve kštici na podzim s maximem v září a nejmenší hodnoty jsou v prosinci. Podíl anagenních vlasových folikulů ve kštici dosahuje maxima v březnu a klesá až do září [9].

Největší výpad se popisuje na přelomu srpna a září, kdy je nejmenší podíl vlasových folikulů v anagenní fázi. V této době může být průměrná ztráta vlasů za den kolem 60, což je více než dvojnásobek oproti březnu, to je v souladu s pozorovaným zvýšením z 10 na 20 % ve prospěch telogenní růstové fáze [9].

Rychlost růstu vlasů ve kštici nevykazuje sezónní kolísání, naopak růst vousů vykazuje velmi variabilní hodnoty, je nejnižší v lednu a únoru a během března se zvyšuje k maximu, kterého dosáhne v červnu. Tyto změny zřejmě korelují s ročními změnami hodnot cirkulujících androgenů. Je možné, že maximální výpad vlasů je také ve vztahu k hladinám testosteronu [9].

2.1.4 Cyklus růstu vlasu

V průběhu života se vlas stále obnovuje. Cyklus růstu vlasu (**tab. 1**) se uskutečňuje ve třech fázích, které se neustále opakují (přirozená obměna vlasů) [2, 3, 4, 5, 6, 10, 11]:

- 1) Růstová fáze (anagenní fáze)
- 2) Přechodná fáze (katagenní fáze)
- 3) Klidová fáze (telogenní fáze)

Na hlavě bývá v průměru asi 100 000 vlasů, z nichž devadesát procent je obvykle v růstové fázi. Po růstové fázi (*anagen*) následuje klidová fáze (*telogen*). Po ní začne ze stejného váčku růst nový vlas, který postupně vytlačí ten starý. Přechodná fáze, kdy dochází k výměně, se nazývá *katagen* [2, 3, 4, 5, 6, 10, 11].

Z toho vyplývá, že vždy může být deset procent všech vlasů v klidu. Jelikož výměna neprobíhá synchronizovaně, může ze zdravé hlavy denně přirozeným způsobem vypadat až devadesát vlasů [2, 3, 4, 5, 6, 10, 11].

2.1.4.1 *Anagen*

Růst vlasů vychází z papily, která je na dolním konci vlasového kořínku. Je spojena tzv. cévní smyčkou přímo na krevní oběh. Papile jsou tak přiváděny výživné látky důležité pro růst. Matrix, zónu stálého buněčného dělení, tvoří dceřiné buňky, které se skládají z bílkovin. Tyto buňky se sunou ve vlasovém váčku pomalu vzhůru a pozvolna rohovatí (keratinizace). Zároveň se prostřednictvím melanocytů ukládá v buňkách pigment melanin – barvivo, které dává vlasu jeho přirozenou barvu [2, 3, 4, 5, 6].

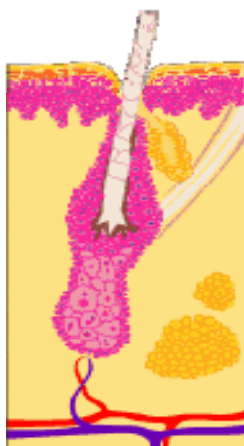
Vlas roste po dobu dvou až sedmi let rychlostí 1,25 cm za měsíc. Než tedy dospěje do klidové fáze, může narůst do délky 30 cm až 1 m. V této fázi (**obr. 9**) se nachází asi 85 % vlasů [2, 3, 4, 5, 6].



Obr. 9: Růstová fáze růstu vlasu (*anagen*) [14]

2.1.4.2 *Katagen*

Následuje dvoutýdenní období změny, v němž se netvoří žádné nové buňky. Papila zastavuje zásobování vlasu a ustává buněčné dělení. Vlasový kořínek zakrňuje a zároveň se vlasový váček ve své spodní části zužuje, čímž se vlasová cibulka palčovitě ztlusťuje. Jakmile skončí fáze růstu, začínají se ve váčku objevovat známky destrukce a spodní část vlasu se oddělí od dna váčku (**obr. 10**). Do této fáze změny se pokaždé dostává jen asi jedno procento vlasů [2, 3, 4, 5, 6].



Obr. 10: Přejídná fáze růstu vlasu (*katagen*) [14]

2.1.4.3 Telogen

Vlas se uvolnil a pomalu se posouvá nahoru až vypadne, zatímco v papile začíná růst nový vlas (**obr. 11**). Klidová fáze trvá 3 – 4 měsíce. V této fázi se nachází asi 10 – 15 % vlasů [2, 3, 4, 5, 6].



Obr. 11: Klidová fáze růstu vlasu (telogen) [14]

Tab. 1: Doba a rychlost růstu vlasů [10]

Anatomické umístění	Délka fázi *			Rychlost růstu (mm za den)
	Anagen	Katagen + telogen	Souhrn	
kůže na hlavě, bez pleše	2 – 6 r	2 – 6 m	2 – 6 r	0,32 – 0,46
kůže na hlavě, pleš	–	–	–	0,08 – 0,15
vousy	14 – 22 m	9 – 2 m	23 – 34 m	0,25 – 0,29
axilární	11 – 18 m	12 – 17 m	–	0,29 – 0,33
pubis	47 – 77 t	51 – 73 t	–	0,3
obočí	6 t	15 t	21 t	0,15 – 0,16
paže	6 – 15 t	8 – 24 t	15 – 34 t	–
stehno	–	–	77 – 240 d	0,13 – 0,25
trup těla	2 – 6 m	2 – 4 m	–	0,27
čelo	63 d	65 d	128 d	0,03

- d – den, t – týden, m – měsíc, r – rok.

2.1.5 Poruchy vlasového růstu – příčiny padání vlasů

Padání vlasů a jakékoliv poruchy růstu a změny na vlasech je velice nepříjemná záležitost. Co se týká padání vlasů, jsou na tom muži podstatně hůře [5, 18].

2.1.5.1 Příčiny vypadávání vlasů

Příčiny vypadávání vlasů se dělí na vnější (exogenní) a vnitřní (endogenní) příčiny [5, 18].

➤ Vnější (exogenní) příčiny

- Chemické účinky – neodborně provedená trvalá, nebo barva, předávkování, nesprávné preparáty.
- Mechanické účinky – trvale nošené vyčesané vlasy a zapletené účesy, vlasové ozdoby.
- Fyzikální účinky – ozařování, extrémní teploty.
- Bakteriální účinky, napadení plísní – mikroorganismy, mykózy, *folikulitis* (zánět vlasového váčku – původcem jsou stafylokoky, které vniknou do vlasového váčku a způsobí záněty v jejich ústí, což vede k jejich zničení).

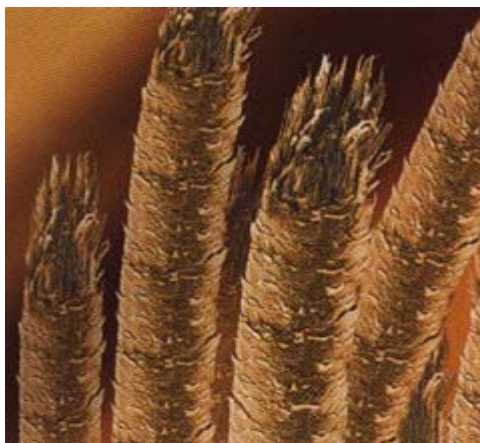
➤ Vnitřní (endogenní) účinky

- Přirozená ztráta vlasů.
- Androgenetické vypadávání vlasů – hormony, dědičné vloh.
- Po těhotenství.
- Vypadávání vlasů v kruzích.
- Důsledek onemocnění – infekce, tyfus, chřipka, spála.
- Výživa – nedostatek vitamínů, podvýživa.
- Toxicita – například thalium.

2.1.5.2 Vnitřní poruchy vlasů

➤ *Trichorrhexis nodosa*

Jedná se o vlasovou anomálii, která se vyskytuje nejčastěji. Vlas se v podélném směru třepí (**obr. 12**), což vede k tomu, že se ulomí. Různé procesy (vrozené, získané) mohou způsobit chybu struktury vlasového *keratinu* [5, 18].



Obr. 12: Roztřepený vlas [8]

➤ ***Pili torti***

Jde o defekt, při němž je kmen vlasu překroucený. Vlas je většinou lámavý, a tím je krátký. Vypadá nápadně třpytivě a odstává od hlavy [5, 18].

➤ ***Pili anulati***

Anomálie v tvorbě keratinu, při které má vlas světlé a tmavé úseky, jinak ale roste normálně dál [5, 18].

➤ ***Monilethrix***

Jedná se o dědičně podmíněnou anomálii v tvorbě vlasu, při které má vlas zúžená a ztlustělá místa, ve kterých se lehko láme [5, 18].

➤ **Typ zkrouceného vlasu**

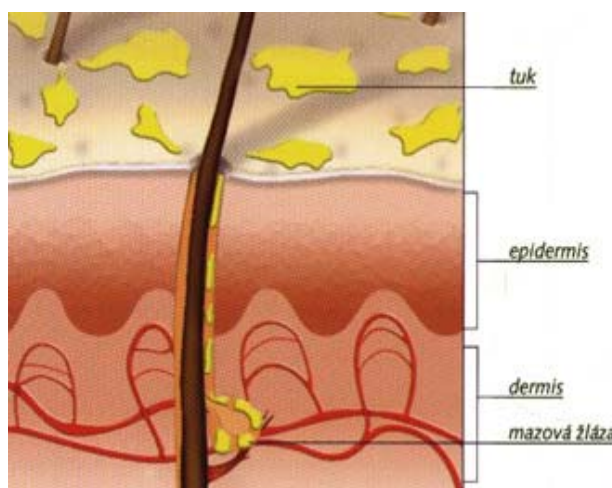
Vlas vypadá podobně jako ovčí vlna, zkudrnacená na některých místech nebo po celé hlavě [5, 18].

➤ **Vlasová mykóza**

Jedná se o plísňové onemocnění vyvolané *dermatofyty*. Tyto plísně mají tu vlastnost, že vytvářejí určité enzymy (*keratinázy*), které pronikají do zrohovatělých struktur a enzymaticky odbourávají *keratin*. Vlasy se lámou většinou těsně u kůže hlavy [5, 18].

➤ **Mastný vlas**

Je důsledkem nadprodukce mazových žláz kůže hlavy (**obr. 13**), které v relativně krátké době vylučují přílišné množství mazu [5, 18].



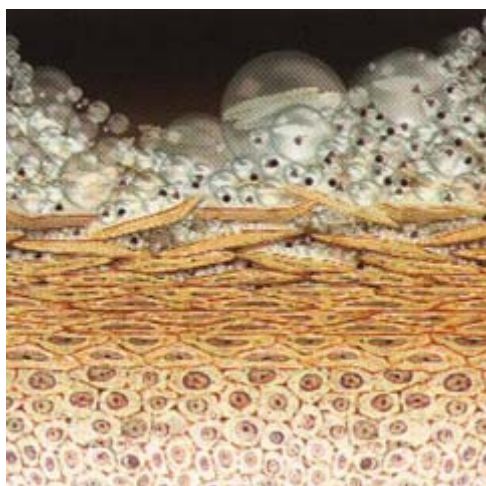
Obr. 13: Nadprodukce mazové žlázy [8]

➤ **Suchý vlas**

Může mít dvě příčiny. První příčinou může být, že je vlas poškozen a zvýšeně porézní. V druhém případě se jedná o nedostatečné činnosti mazových žláz [5, 18].

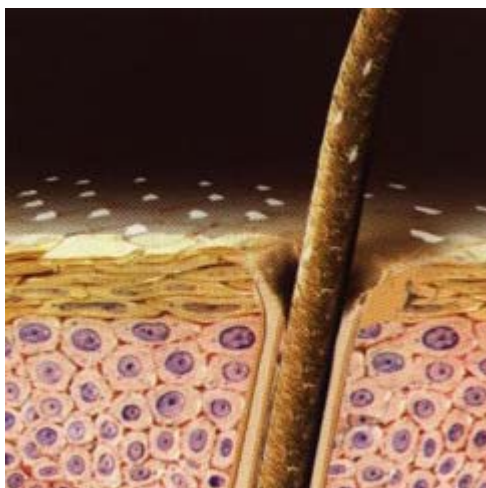
➤ Lupy

Jedná se o olupování kůže (**obr. 14**). Tvoření lupů není žádným specifickým symptomem kožního onemocnění a nejde o poruchu kůže. Jinak je tomu u lupenky (*psoriasis*) nebo seborrhoické dermatitidy, které mohou být spojeny se silnou tvorbou lupů. Rozlišují se dva druhy lupů: suché lupy (*seborrhoea sicca*) a mastné lupy (*seborrhoea oleosa*). Tvorba lupů je podmíněna věkem. U dětí se vyskytují lupy velice zřídka, zpravidla se objevují až začátkem puberty. Nejvíce jsou lupy postiženy osoby mezi 20-tým až 40-tým rokem a se stoupajícím věkem lze pozorovat postupné odeznívání. Tvorba lupů závisí také na ročním období, v letních měsících jich ubývá a na podzim přibývá [5, 18]

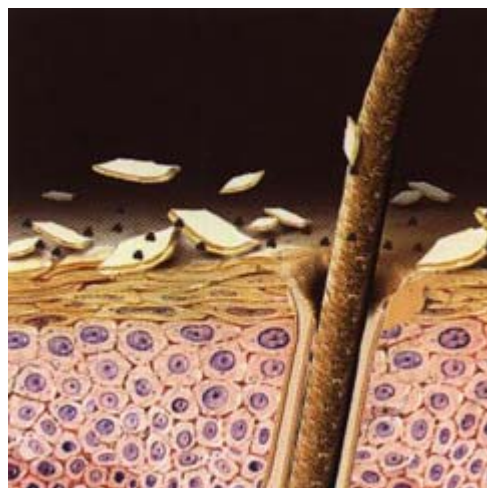


Obr. 14: Vizualizace vzniku lupů [8]

Vytváření nových buněk pokožky (*keranocyty*) se děje buněčným dělením (*mitózou*). Nově vytvořené buňky se neustále posunují směrem k povrchu kůže, přitom se mění a stávají se z nich zrohovatělé buňky (*keratinizace*). Buňky pokožky pak pozvolna odumírají, jsou okem nepozorovatelné a bývají odlučovány na povrchu kůže (proces olupování) (**obr. 15**). Proces tvorby nových buněk a jejich odlučování (*epidermopoesa*) je co nejlépe synchronizován. Narušením tohoto procesu, poruší-li se rovnováha mezi vytvářením nových buněk a odlučováním ve prospěch zvýšené tvorby nových buněk, se začnou objevovat lupy (**obr. 16**). Vytvoří-li se příliš mnoho nových buněk, nemají dostatek času, aby proběhl proces diferenciací, což vede k tomu, že se zrohovatělé buňky stanou pro naše oči více pozorovatelné, neboť jsou odlučovány na povrch kůže ve větší míře [5, 18].



Obr. 15: Normální tvorba lupů na pokožce [8]



Obr. 16: Vznik lupů [8]

2.2 Chemické složení vlasu

Vlas se skládá z makroprvků, ze stopových prvků a toxických látek. Mezi makroprvky patří: vápník, hořčík, fosfor, síra, draslík, sodík a chlór. Stopové prvky jsou zastoupeny železem, zinkem, mědi, molybdenem, niklem, kobaltem, chromem a manganem. Jako toxické látky jsou ve vlasech zastoupeny: thalium, rtuť, hliník, olovo, arsen a kadmium [19].

2.2.1 Stopové prvky

Stopový prvek je přítomen v těle ve velmi nízké koncentraci. Stopovými prvky jsou nazývány ty, jejichž koncentrace ve tkáních je nižší než 50 mg.kg^{-1} . Většinou se jedná o kovy, výjimku tvoří jód a fluor. V lidských tkáních to jsou: Fe, I, Cu, Zn, Co, Cr, Mo, Se, F, Mn, Ni, As, Sn, Si, V. Některé prvky jsou esenciální, jiné toxické [19].

➤ Esenciální stopové prvky

Tyto prvky jsou běžně dodávány dietou. Jejich vlastnosti jsou [19]:

- Přerušení dodávky prvku vede k reprodukovatelným funkčním a/nebo strukturálním abnormalitám spojeným se specifickými biochemickými změnami.
- Dodání prvku je prevencí těchto abnormalit a zabrání biochemickým změnám, resp. Změny vzniklé po přerušení dodávky léčí.

➤ Toxické stopové prvky

Jsou to prvky přítomné v životním prostředí v abnormálních koncentracích, které jsou antagonistické k biochemickým procesům, jejich přítomnost ve tkáních může být pro člověka toxická, eventuálně až fatální. Toxickými stopovými prvky, u nichž není známá biologická funkce u lidí, ale které jsou-li přítomny i v relativně nízkých koncentracích způsobují patologické změny jsou: hliník, arzén, kadmium, olovo a rtuť [19].

➤ **Rozdělení základních skupin stopových prvků podle jejich biologických funkcí [19]:**

- 1) Esenciální stopové prvky s definovanou denní dávkou:
 - Zn, I, Se, Fe.
- 2) Esenciální stopové prvky s definovanou esenciální rolí v metabolismu, ale bez přesného stanovení denní dávky:
 - Cu, Mn, Cr, Co, Mo, F.
- 3) Prvky obsažené ve tkáních a biologických tekutinách ve vysoce nízkých koncentracích, u nichž doposud nebylo jednoznačně určeno, zda jsou esenciální nebo škodlivé ve zjišťovaných koncentracích. U těchto prvků byla zjištěna esenciální role u některých živočišných druhů, avšak u lidí pro to chybí důkazy:
 - Li, Ni, Sn, Si, V, B.
- 4) Toxické stopové prvky, u nichž není známá biologická funkce u lidí, ale které jsou-li přítomny i v relativně nízkých koncentracích způsobují patologické změny:
 - Al, As, Cd, Pb, Hg.

➤ **Biochemické funkce stopových prvků**

Za hlavní biochemickou úlohu stopových prvků je považováno katalytické působení v enzymových systémech buď jako kofaktory nebo jako součást metalloenzymů, kde prvek je pevně spojen s bílkovinou. Primárně byly za hlavní biochemické funkce esenciálních stopových prvků považovány modulace enzymových aktivit, které ovlivňují v intermediárním metabolismu utilizaci aminokyselin, lipidů a sacharidů. Nyní je stále více uznávána strukturální role těchto prvků u jednotlivých buněčných komponent, zvláště pro nukleární bílkovinu, DNA a na buněčných membránách [19].

➤ ***Klinický efekt neadekvátního příjmu***

Mezi jednotlivými stopovými prvky existují významné rozdíly z hlediska symptomů deficitu a času za který se vyvinou. Jsou rozeznávány dva hlavní typy nutričních deficitů [19]:

- **Typ I. – pokles tkáňové koncentrace a defekt specifických metabolických cest.** Dojde ke ztrátě funkce a specifickým klinickým příznakům. To platí pro Fe, I, Cu, Se. Velké rozdíly jsou v času vývoje klinického deficitu: Fe – týdny, Cu – několik měsíců, Se – měsíce i roky.
- **Typ II. – nejsou diagnostické specifické klinické známky nebo jsou poměrně pozdní.**

Představitelem tohoto typu je Zn a Cr. Při depleci (úbytku) Zn je například manifestace kožních změn až pozdní. Deficit těchto stopových prvků se uplatňuje spíše ve vztahu k jiným nutričním (N, aminokyseliny, P, Mg, K). Takový nespecifický deficit se hůře diagnostikuje. Příznaky mohou být urychleny zvýšenými požadavky například na Zn při nástupu anabolické fáze.

U mikronutrientů (stopových prvků a vitamínů) jsou zjišťovány hodnoty v biologických tekutinách, někdy je průkaz jejich deplece zjišťován pomocí dalších metabolických parametrů.

➤ *Stopové prvky a oxidační metabolismus*

Při zvýšení oxidačního metabolismu se zvyšují vysoce aktivní formy kyslíku s nepárovými elektrony. Nejvýznamnějšími volnými radikály (VR^\cdot) jsou: superoxid anion radikál (O_2^\cdot), perhydroxylový radikál (O_2H^\cdot), hydroxylový radikál (OH^\cdot) [19].

Stopové prvky jsou zastoupeny v řadě enzymů podílejících se na odklizení volných radikálů. Klíčovým enzymem je superoxiddismutáza (SOD). Mění v různých částech buněk superoxidové radikály na H_2O_2 . Uvnitř mitochondrií je tento enzym závislý na Mn, v cytoplazmě na Cu a Zn. Vzniklého H_2O_2 se lze zbavit oxidací glutathionu v přítomnosti selenoenzymu glutathionperoxidázy (GPx). Nedostatečná saturace organismu zmíněnými prvky vede proto ke zhoršenému metabolismu volnými radikály. Dalším zametačem VR^\cdot vyžadujícím přítomnost stopových prvků je metallothionein, reaktant akutní fáze v situacích spojených s oxidativním metabolismem [19].

Problémem studií VR^\cdot je důkaz propojení chemických produktů poškození těmito radikály (jedná se o peroxidaci lipidů, lipoperoxidaci a poškození DNA) s klinickými následky. Ač se zdá logické chtít minimalizovat takové poškození suplementací stopových prvků a vitamínů, je třeba dokázat klinický význam takových snah. Tomu je věnován i současný výzkum v této oblasti [19].

Následující tabulka (**tab. 2**) znázorňuje doporučené denní dávky stopových prvků.

Tab. 2: *Doporučené denní dávky stopových prvků [19]*

Prvek		Doporučený příjem per os (muži)			Doporučený příjem parenterální
		USA	UK	EU	
Zn	mg	11	9,5	9,5	3,2 – 6,5
	μmol	168	145	145	50 – 100
Fe	mg	8	8,7	9,0	1,2
	μmol	143	155	161	20
Cu	mg	0,9	1,2	1,1	0,3 – 1,3
	μmol	14	19	17	5 – 20
Se	μg	55	75	55	30 – 60
	μmol	0,7	1,0	0,7	0,4 – 0,8
Mn	mg	2,3	1,4	1 – 10	0,2 – 0,3
	μmol	42	25	18 – 182	3 – 5
Cr	μg	35	> 25		10 – 20
	μmol	1 – 4	> 0,5		0,2 – 0,4
Mo	μg	45	50 – 400		19
	μmol	0,5	0,5 – 4,2		0,2
I	μg	150	140	130	131
	μmol	1,2	1,1	1,0	1
F	mg	4,0	0,05/kg (děti)		0 – 0,95
	μmol	210	2,60/kg (děti)		0 – 50

2.2.1.1 *Jednotlivé stopové prvky*

➤ **Železo Fe**

Jedná se o nejhojnější kovový prvek na Zemi. Většina železa se nachází v nerozpustné formě oxidů nebo sulfidů kovu. Pouze malé množství Fe je biologicky dostupné pro organismy a je poté nejdůležitějším stopovým prvkem zajišťujícím přenos kyslíku a řadu oxidoredukčních dějů ve tkáních. Dvojmocné železo (Fe^{2+}) slouží pro transport kyslíku spojením s hemoglobinem a myoglobinem. Hem je koenzym, který obsahuje jeden atom Fe. V krvi jsou čtyři molekuly hemu a čtyři molekuly kyslíku vázány v jedné hemoglobinové molekule. Ve svalu jsou jeden hem a jedna molekula kyslíku navázány na jednu molekulu myoglobinu. Železo je také součástí enzymů. Jsou to především mitochondriální cytochromy, které se účastní uvolňování energie z oxidativních fosforylací a ATP, dále to jsou cytochromy v endoplazmatickém retikulu (cytochrom P450 a cytochrom b5), které se účastní detoxikace léků, kancerogenů a některých xenobiotik. Mezi další enzymy patří například adrenotoxin, kde je železo vázáno na atom síry v cysteinu, nebo to jsou enzymy, které se účastní syntézy DNA a důležité jsou také Fe-metaloenzymy [19, 20, 21].

Ve vysoké koncentraci působí Fe toxicky, ukládá se v játrech, ve slinivce, v myokardu a v kůži. To vede k jaterní cirhóze, fibróze pankreatu, kardiomyopatii, bronzovému diabetu (kombinace cukrovky a tmavého zbarvení kůže, které vzniká při nadměrném ukládání železa do organismu při hemochromatóze nebo hemosideróze). Při deficitu železa, ke kterému dochází při jeho nedostatku v potravě, sníženému vstřebávání, při chronických ztrátách krve, akutních a chronických infekcích a maligních procesech, dochází k zvýšené únavě, snížené fyzické výkonnosti a zvýšené tvorbě kyseliny mléčné ve svalech. Dále je zhoršená schopnost udržování tělesné teploty při chladovém stresu a vznikají neurologické abnormality. Závažnější deficit Fe se projeví hypochromní anémií, čímž dochází k narušení zásobování tkání kyslíkem. Typická je světlá barva sliznic i kůže, objevují se bolesti hlavy, iritační stavy, krátký rychlý dech, časté jsou zácpy, nadýmání, malátnost a únava [19, 20, 21].

Hlavním zdrojem železa pro lidský organismus jsou vnitřnosti (játra, srdce, ledviny) a maso. Dále je železo obsaženo v pivních kvasnicích, čočce, hrachu, meruňkách, hlávkovém salátu, petrželové nati, pažitce, máku, mandlích a špenátu, ve kterém je však železo vázáno na oxaláty, které jeho využití významně snižují [19, 20, 21].

➤ **Zinek Zn**

Zinek je po železe druhý nejdůležitější stopový prvek, kov, nutný pro růst a reprodukci. V biologických systémech se vyskytuje ve dvojmocné formě. Zinek je nejhojnější intracelulární stopový prvek, má řadu katalytických, strukturálních a regulačních funkcí [19, 20, 21, 22, 23]:

- Zinek je součástí biomembrán, je nezbytný pro stabilizaci RNA, DNA a ribozomů, je přítomný v řadě transkripčních faktorů, stabilizuje některé komplexy hormonů s jejich receptory.
- Je kofaktorem více než 200 metaloenzymů (například karboanhydráza, ALP, GMD, RNA a DNA polymerázy a superoxiddismutáza)
- Ovlivňuje syntézu specifického proteinu pro retinol, uplatňuje se při tvorbě inzulinu a prodlužuje jeho hypoglykemický účinek.

- Zapojuje se do antioxidační ochrany organismu – jako součást enzymu superoxiddismutázy stabilizuje buněčné membrány a snižuje tak riziko lipoperoxidace.
- Detoxikační účinky – snižuje toxický účinek olova a kadmia.
- Významný pro vývoj a správnou gonadální funkci u mužů, ovlivňuje spermatogenezi a produkci testosteronu.
- Potřebný pro syntézu nukleových kyselin. Jeho deficit postihuje enzymy zapojené v jejich metabolismu a ovlivňuje tak rychlost buněčného dělení, růstu, regenerace a hojení ran.
- Důležitý pro udržení integrity a bariérové funkce kůže.
- Komplexní účast v imunitním systému, při jeho deficitu je postižena především buněčná část imunity.
- Bez zinku se stává neaktivní hormon thymu thymulin.

Koncentrace zinku v pupečníkové krvi je asi dvakrát vyšší než v krvi matky. V průběhu těhotenství je velmi vhodné používat doplňky stravy, jejichž součástí je zinek, protože je to významná prevence před infekcemi matky včetně infekce plodové vody, a dokonce prevence vývojových vad – zinek je nutný k dokonalému vývoji mozku plodu [24].

Projevy mírného deficitu nejsou klinicky výrazné. Především u dětí bývá zjišťovaná retardace růstu, u dospělých potom narušení imunitních funkcí, oligospermie, komplikace gravidity (hypertenze v graviditě, předčasný porod, prodloužený porod). Závažnější deficit se projevuje poruchy růstu u dětí a dospívajících, poruchy metabolismu kostí, poruchy vývoje pohlavních orgánů. Typické jsou poruchy kůže, alopecie, dystrofie nehtů, zpomaluje se hojení ran, popálenin a vředů. Dochází k narušení imunity, mohou se objevit psychomotorické a psychosomatické poruchy (ataxie, poruchy řeči, deprese, emoční nestabilita). Narušeno je i smyslové vnímání, objevuje se šeroslepost, fotofobie, snížení ostrosti chuti a anorexie. Také bývá zjišťována incidence nádorových a alergických onemocnění. Řada studií naznačuje, že nedostatek zinku může být spojen se zvýšeným rizikem vzniku rakoviny. Zinek přispívá ke zlepšení imunity a k prevenci a léčbě rakoviny [19, 20, 21, 22, 23].

Biologický dostupný zinek poskytuje hlavně maso (nejvíce zvěřina), dále mořské ryby, játra a vejce. Toxicita zinku je nízká a k předávkování dochází pouze výjimečně. Typickými příznaky akutní otravy jsou bolest v epigastriu, průjem, nevolnost a zvracení [19, 20, 21, 22].

➤ *Selen Se*

Je to esenciální stopový prvek, kov. Je součástí řady enzymů. Pomáhá chránit organismus proti oxidačnímu stresu a před zhoubným bujením, je důležitý při reprodukci.

Metabolické oblasti využití selenu [19, 20, 21]:

- Svalová práce.
- Porodnictví.
- Spermiogeneze.
- Nádorová onemocnění.
- Imunita.
- Renální insuficience.

Selen působí jako antioxidant, podporuje imunitní systém, váže nadbytečně dodávané těžké kovy, pravděpodobně zpomaluje stárnutí a zlepšuje plodnost mužů. Pozitivně působí jako preventivní opatření proti rakovině u prokazatelně ohrožených osob [24].

Deficit selenu vyvolává řadu onemocnění. Projevuje se myopatiemi, svalovou slabostí, ztuhlostí, bolestivostí, kardiomyopatií, zvýšeným rizikem kardiovaskulárních onemocnění a osteoartritidou. Dále bývají zjišťovány anémie, zvýšený výskyt trombóz, narušení imunitních funkcí a zvýšené riziko výskytu nádorových onemocnění. Deficit Se rovněž způsobuje zhoršení funkce štítné žlázy, zvyšuje riziko karcinomu štítné žlázy a dochází k narušení fertility [19, 20, 21].

Zdrojem selenu pro lidský organismus je především česnek, cibule, pažitka a pórek. Dále to jsou vnitřnosti (játra, ledviny), vepřové a hovězí maso a některé druhy ořechů. Významné množství selenu mohou obsahovat celozrnné obiloviny (ovesné vločky, hnědá rýže), celkový obsah je však ovlivněn obsahem tohoto prvku v půdě, kde byly pěstovány [19, 20, 21].

U selenu existuje poměrně malý rozdíl mezi esenciální a toxickou dávkou. Ve vyšších dávkách má silně kancerogenní a toxické účinky. Intoxikace u lidí je však vzácná. Při akutní otravě selenem bývá zjišťován zápach z úst po česneku, nevolnost, průjem, podrážděnost, únava, deprese, bolesti hlavy, periferní neuropatie (parestázie), vypadávání vlasů, deformace nehtů, kožní puchýřky. U těžkých otrav může nastat edém plic a bronchopneumonie. Chronická otrava se projevuje dermatózou, alopeciemi, poruchami gastrointestinálního traktu, hepatopatiemi a kardiomyopatiemi [19, 20, 21].

➤ *Mangan Mn*

Mangan je nezbytnou součástí některých důležitých enzymů, které jsou navíc aktivovány hořčíkem. Enzymy obsahující mangan jsou důležité při produkci energie z mastných kyselin, dále pro syntézu cholesterolu a uvolnění tuků nahromaděných v játrech [21].

Mangan potřebujeme především pro řádný vývoj buněk a pak pro účinek vitamínu B₁ – thiaminu. Vedle železa a vápníku, umožňuje řádnou tvorbu krve. Dále spolu s kobaltem zabraňuje šedivění a udržuje vlas živý. Ale při nedostatku manganu může být thiamin toxický! Mangan zmírňuje toxické účinky mnoha sloučenin, zejména dusičnatých [20].

Vstřebání manganu je podobné jako u železa. Vysoký přívod železa blokuje vstřebání manganu pravděpodobně tím, že spolu soutěží o mechanismy v absorpčních cestách. Předpokládá se, že mangan se vstřebává s efektivitou menší než 5 % z celkového příjmu potravou [21].

Denní potřeba manganu je 0,2 až 0,3 mg.kg⁻¹ hmotnosti těla, což činí u dospělých 20 až 30 mg denně. Nejvíce manganu je v čaji a v jeřabinách, pak v pepři, jedlých kaštanech a v kakau (**tab. 3**) [20].

Tab. 3: Obsah manganu v potravinách [20]

Střední obsah manganu v mg na 1 kg čerstvé hmoty potravin	Potraviny
0,04	mléko
0,05	hovězí maso, skopové, telecí, drůbež, vejce, máslo
0,5 – 2	mořské ryby, olivy, med, hořčice, citrón, káva, celer
2 – 10	vepřové ledviny, sýry
10 – 70	pšeničná mouka
35	kakao
40	jedlý kaštan
40 – 200	jeřabiny
150 – 900	čaj

Transport manganu je zajištěn vazbou na krevní bílkoviny, zvláště α -2-makroglobulin a je přenášen do jater, kde je oxidován, navázán na transferin a touto krevní bílkovinou přenášen do tělesných tkání. Hlavní cestou vylučování manganu je žluč [21].

S jistotou nebyly projevy deficitu manganu jako izolovaná porucha popsány. Předpokládají se symptomy jako je zánět kůže a hypocholesterolemie. V ojedinělých sděleních se popisuje deficit manganu u člověka s projevy glukózové intolerance a u matek, kde byly zjištěny nízké hodnoty manganu ve vlasech, byly pozorovány abnormality v tvorbě krve, růstu vlasů, osteoporóza, netraumatické epilepsie [21].

2.2.2 Toxické prvky

➤ **Arsen As**

Arsen je velice užitečný při anémii a pro chuť k jídlu. V organismu člověka je ho 15 – 20 mg. Nejbohatším zdrojem jsou mořští krevetnatci (langusty, humři, atd.) a některé mořské ryby. Když obsah arsenu v půdě překročí určité hranice, zvětšuje se nebezpečí rakovin hrtanu a leukémie. Přírodní zdroje arsenu, pokud zůstávají nenarušeny, představují jen malou hrozbu pro zdraví lidí [20, 25].

➤ **Kadmium Cd**

Kadmium patří mezi toxické látky s karcinogenním účinkem na člověka. Spolu s ostatními kovy působí kadmium i synergicky [26].

Při delší expozici se kadmium kumuluje převážně v ledvinách, játrech, trávicím ústrojí a v plicích. Senzitivita vůči iontům kadmia je závislá hlavně na nutričním stavu organismu, zvláště pak deficitu některých nezbytných složek výživy (bílkoviny, vápník, metabolismus železa, interakce Cd x Cu x Zn, vitamín D). Koncentrace kadmia v těle během života roste.

Významným průnikem kadmia do potravinového řetězce je používání hnojiv. Zejména superfosfáty přírodního původu obsahují 5 – 10 mg.kg⁻¹ kadmia, africké superfosfáty i přes 30 mg.kg⁻¹. Významný podíl mají v tomto směru i některé pesticidy [26].

Kadmium je velmi nebezpečný prvek, protože jeho nadbytek působí nesnesitelné bolesti svalů, lámou se kosti, deformuje se kostra, poškozují se plíce, ledviny atd. Kromě toho je kadmium asi základem všech novotvarů [20].

Denně přijímáme s potravou asi 48 mg kadmia a totéž množství se vylučuje močí a stolicí. Nejvíce kadmia je v játrech a v ledvinách (detoxikace) a něco málo v krvi. U otravy kadmiem velice pomáhá selen [20].

Vzhledem ke svým chemickým vlastnostem snadno reaguje s celou řadou biologicky aktivních molekul, včetně proteinů, fosfolipidů, purinů, porfyrinů, nukleových kyselin a enzymů. Tato záměna kovů může pak působit sníženou nebo zvýšenou aktivitu takového enzymu. Všechny tyto změny a jiné vlastnosti biologicky aktivních molekul obsahujících kadmium jsou podstatou jeho nebezpečnosti pro živé organismy [26].

Denní příjem kadmia ve smíšené stravě je 89 – 178 nmol.μg⁻¹. Bohaté zdroje kadmia jsou v mořských produktech, dále v obilí a listové zelenině, zvláště té, která roste v půdě vysoce kontaminované kadmiem, tj. v blízkosti silnic a dálnic, kam se dostává kadmium z mazacích směsí a pohonných hmot [21].

➤ **Olovo Pb**

Olovo je toxický stopový prvek, těžký kov. Pro člověka je hlavním zdrojem expozice znečištěná atmosféra a kontaminovaná potrava. Běžně se olovo vyskytuje v životním prostředí (výfukové plyny, barviva, keramické výrobky, potravinářské obaly – konzervy) [19, 20, 27].

Projevy otravy Pb [19, 20, 27]:

- Neurotoxita a hemolýza s následným poškozením ledvin.
- Poškození řady orgánových systémů a biochemických pochodů.
- Encefalopatie – závratě, ataxie, edém mozku.
- Symptomatická neurotoxita – zodpovídá za sníženou koncentraci pozornosti školních dětí, změny v jejich IQ.
- Toxicita tetraetylolova – tetraetylolovo poškozuje CNS.
- Zvýšení obsahu Pb se projevuje anemií.

Bylo prokázáno, že trvalá expozice dětí i nízkým dávkám je příčinou zpomalení duševního vývoje a nepříznivých změn v chování. Děti vystavené těmto relativně nízkým expozičním dávkám olova v raném období svého života mohou mít v inteligenčních testech hodnoty IQ o 2 – 3 body, výjimečně až o 5 bodů, nižší ve srovnání se neexponovanými dětmi stejného věku [19, 20, 27].

Referenční intervaly stopových prvků ve vlasech jsou shrnuty v následující tabulce (**tab. 4**).

Tab. 4: Referenční intervaly stopových prvků ve vlasech (WHO 1996) [19]

Arsen	100 – 300	µg/kg	1,33 – 4,00	µmol/kg
Bór	1000 – 2000	µg/kg	92,5 – 185,0	µmol/kg
Cín	800	µg/kg	6739	nmol/kg
Chróm	300 – 1200	µg/kg	5,77 – 23,0	µmol/kg
Jód	400 – 1000	µg/kg	3,15 – 7,88	µmol/kg
Kobalt	50 – 300	µg/kg	878 – 5270	nmol/kg
Křemík	4 – 10	mg/kg	142,4 – 356, 0	µmol/kg
Lithium	10 – 100	µg/kg	1,44 – 14,4	µmol/kg
Mangan	500 – 1500	µg/kg	9 – 27,3	µmol/kg
Měď	15 – 25	mg/kg	236,0 – 393,4	µmol/kg
Nikl	20 – 200	µg/kg	340,8 – 34087,7	nmol/kg
Selen	500 – 1000	µg/kg	6,33 – 12,66	µmol/kg
Vanad	50 – 150	µg/kg	981,5 – 2944,6	nmol/kg
Zinek	150 – 250	mg/kg	2,29 – 3,82	mmol/kg
Železo	30 – 60	mg/kg	0,54 – 1,08	mmol/kg

2.2.3 Makroelementy

➤ Draslík K

Draslík je jedním z nejrozšířenějších prvků v těle. 98 % draslíku je uvnitř buněk. Rozdíl mezi koncentrací draslíku uvnitř buňky a v zevních tělesných tekutinách, který je zajišťován sodíko-draslíkovou pumpou, je jedním z hlavních funkčních mechanismů živé buňky [21].

Draslík je fyziologicky velmi důležitý iont, který se účastní funkce mnoha orgánů, např. svalstva, kardiovaskulárního systému, dýchacího systému, ledvin, endokrinního a nervového systému. Jeho funkce je nepostradatelná v procesu růstu a dělení buněk. Draslík je v průběhu syntézy důležitých složek v těle (glykogen, proteiny) zabudován do těchto organických komplexů. Zásadní funkce draslíku je v elektrických procesech nervového systému, vedení nervového vzruchu, dále ve svalovém vztahu a obecně při získávání energie z živin [21].

Spolu s vodíkem regulují vodní rovnováhu v organismu a normalizují rytmus srdce. Udržuje acido-alkalickou rovnováhu v těle a správnou činnost nervů a svalů. Přispívá k odstraňování odpadových látek z těla, snižuje vysoký krevní tlak a ulehčuje léčení alergických stavů [28].

Draslíku potřebuje naše tělo poměrně hodně. Denně musíme doplňovat 2 až 4 g, přičemž denně náš organismus ztrácí 2 až 3 g. Zvýšená potřeba je zejména po chirurgických zákrocích, při odtučňovacích kúrách, po velkém odvodnění organismu, při dlouhotrvajících průjmech, vrhnutích, při nadměrném pocení atd., prostě při větší ztrátě tekutin jakéhokoli druhu [20].

Nedostatek draslíku se projevuje hlavně při hyperfunkci štítné žlázy, po úplném vyčerpání a při otocích. Projevuje se především poruchou činnosti svalů, v krevním oběhu, v trávicím traktu, v činnosti srdce a v činnosti nervového systému. Zvýšenou potřebu lze také zaznamenat při velkých vedrech [20].

V potravě jej nalezneme v mase, ovoci i zelenině (**tab. 5**).

Tab. 5: Obsah draslíku v potravinách [20]

Obsah draslíku v mg na 100 g potravin	Potraviny
135	čerstvá vejce
257	maso vepřové
312	maso telecí
336	černý rybíz
416	brukev
480	špenát
557	brambory
833	rozinky
856	mandle
864	sušené švestky
868	vlašské ořechy
937	hrách
1188	bílé fazole
176 – 2075	paprika

➤ **Hořčík Mg**

Hořčík je prvek potřebný ke zdraví člověka, je jeden z nejrozšířenějších a nejdůležitějších prvků na zemské kouli. Ion hořčíku má svou nezastupitelnou úlohu ve všech procesech probíhajících v organismu. Např. v ochranných procesech působí jako činitel antistresový, antitoxický, protialergický, chrání před ionizujícím zářením, regulující teplotu apod. [20, 29].

Hořčík se zúčastňuje, pokud je známo, ve 100 různých enzymatických reakcích. Jeho hlavní vliv se koncentruje na regulaci růstu, na látkovou přeměnu a na činnost buněk [20, 29]. Hraje naprosto nepostradatelnou roli ve struktuře nukleových kyselin a tím přenosu genetické informace. Pro člověka je zcela nepostradatelným prvkem pro získání energie a všechny reakce, které s přeměnami energie v těle souvisí. Funkce svalů, přenos vzruchu a funkce nervové tkáně, tvorba tuku, tvorba bílkovin v těle, reakce důležité pro ochranu před toxickými projevy zevního prostředí (toxické exhalace, vliv toxických látek ve vodě a v okolním prostředí) [21].

Hlavní místo, kde se hořčík vstřebává u člověka, je tenké střevo. Z tlustého střeva se malá část hořčíku také vstřebává a jeho úloha se projeví pouze u osob, které mají porušenou funkci tenkého střeva. Vstřebání hořčíku stoupá s jeho příjmem. Z podaného hořčíku potravou se u dospělého jedince vstřebává přibližně 25 %. V tomto ohledu není význačný rozdíl mezi dospělým mužem a ženou, vstřebání hořčíku z potravy se rovněž nemění významně ve stáří [21].

Nedostatek hořčíku je způsoben jednak jeho nedostatkem v potravě a dále jeho zvýšenou potřebou, případně zvýšenými ztrátami do moči a do stolice [21]. Jeho nedostatek je nejčastěji příčinou předčasné arteriosklerózy, sklerózy, neurózy apod. Nedostatek hořčíku značně narušuje funkci nadledvinek. Tato porucha funkce nadledvinek je právě charakteristickým projevem spasmofilie – křečovitosti z nedostatku hořčíku. Jejím typickým projevem je pak uvedená křečovitost lýtek při ranním vstávání [20].

Hořčík mimo jiné působí sedativně, reguluje nervový systém a tím uvolňuje i svaly. Ion hořčíku řídí hladinu cholesterolu. Mimoto reguluje činnost organismu vůbec, a tudíž vlastně veškeré životní procesy [20].

V potravě jej nalezneme v pečivu, ovoci i zelenině (**tab. 6**).

Tab. 6: Obsah hořčíku v potravinách [20]

Obsah hořčíku v mg na 100 g potraviny	Potraviny
20 - 80	pečivo
25 - 90	zeleninové konzervy
70 - 165	ořechy
120	šípek suchý
124	hrách
130	čokoláda
169	fazole
250	sója
310	bukvice
320	banány
442,2	kakao

2.3 Metoda ICP-MS

ICP-MS neboli hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem je ultrastopová analytická metoda sloužící ke stanovení obsahu stopových množství jednotlivých prvků v analyzovaném vzorku. Tato technika umožňuje analyzovat téměř všechny prvky od lithia po uran s citlivostí od jednotek ppt po stovky ppm. První ICP MS spektrometr byl uveden na trh v roce 1980 a v průběhu osmdesátých let minulého století, po úspěšném vyřešení technických problémů s vytvářením stabilního vakua o tlaku řádově 10^{-3} Pa a udržení konstantních podmínek v argonovém plazmatu, se začaly tyto přístroje rychle rozšiřovat. Přístroj vznikl původně pro potřebu geologických, oceánologických a ekologických laboratoří. Jeho využití však brzy našel i průmysl, medicína, armáda, policie, ale i akademická pracoviště všeho druhu. Metoda ICP-MS využívá vysokoteplotního ICP zdroje, který převádí atomy prvků obsažených ve vzorku na ionty, které jsou poté separovány a detekovány hmotnostním spektrometrem [30, 31].

Na následujícím obrázku (**obr. 17**) je znázorněn spektrometr ICP-MS.

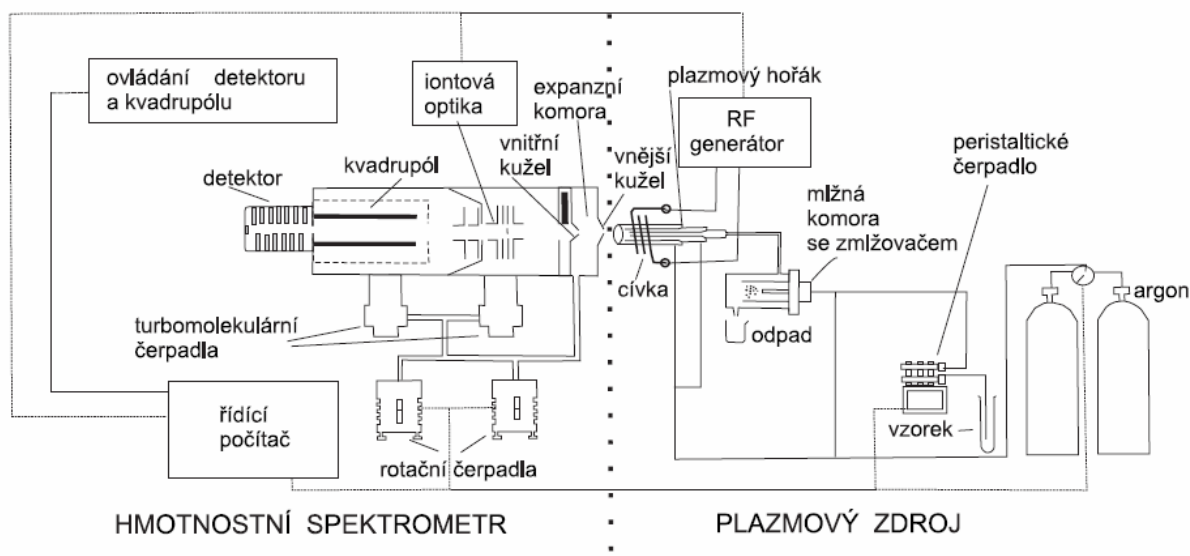


Obr. 17: Spektrometr ICP-MS [32]

2.3.1 Princip metody

Roztok analytického vzorku je zmlžen a vzniklý aerosol je proudem argonu veden do hořáku, ve kterém je za pomoci střídavého vysokofrekvenčního magnetického pole udržováno argonové plazma o teplotě 6 000 – 10 000 K [30, 31, 33, 34].

Při těchto vysokých teplotách se rozpouštědlo okamžitě odpaří a zanikají chemické vazby v molekulách přítomných sloučenin. Jednotlivé volné atomy ve většině případů vytvoří jednou kladně nabitě ionty Me^+ , které jsou dále unášeny do přechodové komory, kde je snížen tlak plynu na přibližně 1,32 Pa [30, 31, 33, 34].

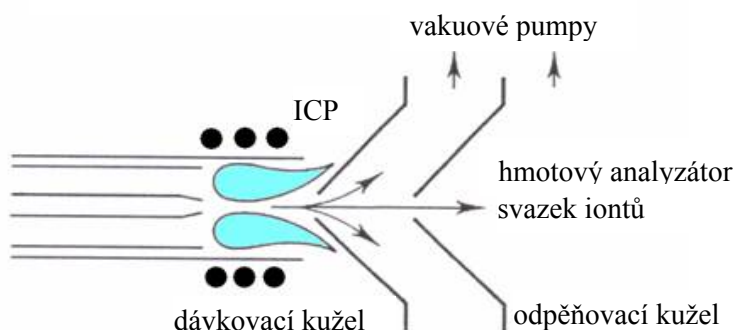


Obr. 18: Schéma ICP-MS [33]

Po průchodu iontů vnějším a vnitřním kónusem klesá tlak na řádově 10^{-3} Pa a ionty se systémem elektromagnetických čoček dostávají do kvadrupólového detektoru (**obr. 18**). Zde jsou ionty separovány na základě poměru jejich hmotnosti a náboje a dopadají na detektor. Dopadem na povrch zesilovače vzniká velmi slabý elektrický proud, který je následně zesílen a je změřena jeho intenzita. Celý přístroj je spojen s počítačem obsahující řídicí a vyhodnocovací software. Výsledkem analýzy jsou údaje o koncentraci měřených prvků v analyzovaném roztoku [30, 31, 33, 34].

2.3.2 Popis zařízení

Ideou metody ICP-MS, tj. spojení indukčně vázané plazmy s hmotnostní spektrometrií, je použití budícího zdroje – indukčně vázané plazmy – jako zdroje iontů pro hmotnostní spektrometr, který je pak separuje a detekuje ionty podle jejich hmotnosti. Základem spojení obou metod je *interface* (**obr. 19**), který zabezpečuje vstup iontů vzorku z plazmatu za atmosférického tlaku do hmotnostního analyzátoru pracujícího ve vakuu. *Interface* je tvořen dvěma kužely s malými otvory (1 mm) ve hlavě kuželu. Těmito otvory vstupují ionty z plazmatu do hmotnostního analyzátoru. Po průchodu *interface* jsou ionty vedeny do kvadrupólového hmotnostního analyzátoru systémem iontových čoček, které propustí pouze ionty s kinetickou energií v určitém intervalu. Celý analyzátor s detektorem je vychýlen mimo optickou osu, aby se zabránilo dopadu fotonů emitovaných z plazmy na detektor; dopad fotonů na detektor je nežádoucí, protože znamená zvýšení signálu pozadí a snížení detekčního limitu [30, 31, 33, 34].



Obr. 19: *Interface* [35]

2.3.2.1 Transport vzorku do plazmatu

Pro analýzu metodou ICP-MS je třeba převést vzorek do roztoku. K transportu vzorku do plazmatu se používají peristaltická čerpadla (**obr. 20**). Přitom se obvykle používá dvou - nebo i třicestné čerpadlo, které v prvním kanále transportuje roztok vzorku, v druhém kanále roztok interního standardu a třetí může být použit například pro in-line ředění příliš koncentrovaných vzorků [30, 31, 33, 34].



Obr. 20: Peristaltické čerpadlo pro dávkování vzorku do zmlžovače [36]

Vytváření aerosolu vzorku probíhá ve zmlžovači, z něhož vychází jemně dispergovaná „mlha“ kapiček roztoku a je proudem argonu unášena do plazmového hořáku. Nejčastěji jsou používány pneumatické kapilární zmlžovače, které jsou konstrukčně nejvíce propracovány. V těchto zmlžovačích se slabý proud roztoku vstříkují tenkou tryskou do proudu argonu a v systému několika koncentrických trubic vzniká poměrně velmi dobře definovaný a homogenní aerosol vzorku. Jeho hlavní nevýhodou je možnost zanesení trysky malými nerozpuštěnými částicemi ve vzorku nebo vykrystalovanými solemi při analýze příliš koncentrovaných roztoků. Pro takové roztoky je proto lépe využít pneumatického Babbingtonova zmlžovače, který dovoluje pracovat i se silně zasolenými roztoky nebo suspenzemi pevných částic, nevytváří však tak jemný a dobře definovaný aerosol [30, 31, 33, 34].

V některých speciálních aplikacích lze odebírat vzorek pro měření i z pevného materiálu, a to odjiskřováním laserem za průtoku konstantního množství argonu, který transportuje odjiskřené mikročástičky vzorku přímo do hořáku [30, 31, 33, 34].

Posledním speciálním případem je generování plynných hydridů a jejich dávkování do plazmatu. Tento postup vede k mimořádné citlivosti analýz, má však řadu omezení – je použitelný pouze v omezené skupině prvků jako arsen, selen, antimon, cín, tellur nebo bismut a současně nesmí analyzovaný roztok obsahovat významné koncentrace těžkých kovů [30, 31, 33, 34].

2.3.2.2 Ionizace v plazmatu

Technika ICP-MS je založena na analýze iontů měřených prvků a je proto žádoucí, aby atomy analyzovaných prvků byly před vstupem do detektoru převedeny do formy iontů Me^+ . Dlouhodobým výzkumem bylo nalezeno plazma s takovými parametry, které produkci uvedených iontů zabezpečuje v požadované míře [30, 31, 33, 34].

Základní charakteristikou vstupu vzorku do plazmatu je množství přiváděného plynu. To je v tomto případě na úrovni přibližně $20 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$ argonu a zajišťuje tvorbu aerosolu vzorku potřebných parametrů. Pro takový průtok plynu je pak jako ideální prostředí definováno vysokofrekvenční (obvykle v rozmezí 25 – 50 MHz) plazma s dodávaným výkonem 0,8 - 1,8 kW [30, 31, 33, 34].

Technicky je tento výkon předáván protékajícímu proudu argonu pomocí cívky o 3 - 4 závitech, která je umístěna na vyústění zmlžovače. Protože předávání tak vysokého výkonu z vysokofrekvenčního generátoru do plazmatu by za normálních podmínek způsobilo

přehřívání cívky s možností jejího poškození natavením, jsou cívky zhotoveny z dutých kapilár o vnitřním průměru 1 - 2 mm. Cívka je pak kontinuálně chlazena proudem chladicího média (obvykle deionizované vody) o teplotě 15 - 20 °C [30, 31, 33, 34].

2.3.2.3 *Převedení iontů do vakua*

Protože analýzu obsahu jednotlivých iontů ve vzorku lze provést pouze za podmínek poměrně vysokého vakua, je třeba ionty analyzovaných prvků transportovat do tohoto prostředí. Dosahuje se toho průchodem vzorku dvěma kónusy s průměrem vstupního otvoru několik desetin mm. Po průchodu 1. kónusem (*sampler*) se atomy vzorku dostávají do meziprostoru, kde je tlak plynu soustavně udržován na hodnotě řádově několika jednotek Pa. Po průchodu otvorem druhého konu (*skimmer*) se analyzovaný vzorek dostává do prostředí o tlaku přibližně 10^{-3} Pa a dosahují již nadzvukové rychlosti [30, 31, 33, 34].

Vakuum je získáváno kombinací činnosti celkem 4 vakuových pump. Ve vzájemné součinnosti pracuje vždy jedna klasická olejová vývěva, která odčerpává hlavní množství přítomného plynu. Zbytek je pak odsáván turbomolekulární pumpou (**obr. 21**), která při otáčkách rotoru kolem $60\,000\text{ min}^{-1}$ odstraňuje atomy plynu mechanickými nárazy lopatek rotoru o velmi vysoké rychlosti [30, 31, 33, 34].



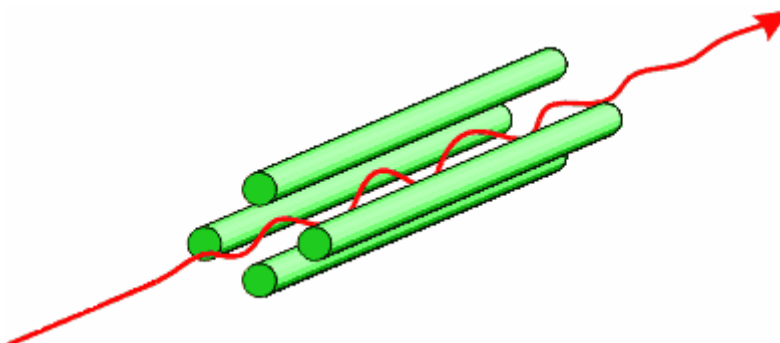
Obr. 21: Turbomolekulární pumpa [37]

2.3.2.4 *Separace iontů v kvadrupólu*

Kvadrupólový analyzátor a separátor je založený na separaci iontů pohybující se v elektrickém poli účinkem jednosměrného a střídavého napětí. Je součástí levnějších hmotnostních spektrometrů s nízkým rozlišením vhodných na spojení s plynovou a kapalinovou chromatografií. Pracuje jako filtr, podél jehož osy mohou projít jen ionty o určitém poměru $m.z^{-1}$. Kvadrupólový analyzátor je tvořen čtyřmi symetricky uspořádanými kovovými tyčemi kruhového nebo hyperbolického průřezu, kde vždy dvě protilehlé jsou vodivě propojeny [36].

Po převedení iontů do vakuové části spektrometru se tam dostává velké množství nechtěných částic, které by rušily závěrečnou detekci jednotlivých separovaných iontů. Jsou to jednak elektricky nenabitě atomy, převážně atomy argonu, kyslíku a vodíku a dále velké množství fotonů uvolněných z argonového plazmatu. Protože všechny uvedené částice jsou elektricky neutrální a neovlivňuje je tudíž elektromagnetické pole, stačí do jejich dráhy umístit nějakou mechanickou překážku (např. kovový terčik) a fotony i nenabitě částice se na ní zastaví. Analyzované ionty se pak vychýlí přesně tvarovaným elektromagnetickým polem tak, aby překážku prostě obletěly a teprve za ní byly vneseny do kvadrupólu (**obr. 22**). U některých přístrojů je vzájemné uspořádání vstupních kónů a kvadrupólu vyřešeno tak, že

osa kvadrupólu je otočena v úhlu přibližně 45° od směru vstupujících iontů a ty jsou do kvadrupólu nasměrovány opět důmyslně generovaným elektromagnetickým polem (tzv. magnetickou optikou), zatímco nenabitě částice zanikají po dopadu na absorpční kovovou plochu ležící v ose vstupních kónů [30, 31, 33, 34, 39].



Obr. 22: Schématický náčrt kvadrupólu [40]

Pro další oddělení jednotlivých iontů podle jejich relativní atomové hmotnosti slouží tzv. kvadrupólový separátor. Je to soustava čtyř kovových tyčí o délce 30 – 40 cm a průměru asi 10 mm, na které se postupně vkládá elektrické napětí složené ze stejnosměrné složky a vysokofrekvenční střídavé složky tak, aby dvě protilehlé tyče měly vždy stejnou polaritu. Působením takto generovaného elektromagnetického pole se ionty, vstupující do kvadrupólu rozkmitají a za určitých známých podmínek lze docílit toho, že kvadrupólem proletí pouze částice o definované hmotě a dopadne na detektor. Některé typy ICP-MS spektrometrů mají navíc instalován ještě menší kvadrupólový předseparátor, který vstupující ionty nasměruje do správného směru v ose vlastního kvadrupólu [30, 31, 33, 34].

Při analýze se pak obvykle postupuje tak, že se pomocí výkonného počítače mění podmínky na kvadrupólu tak, aby byly analyzovány pouze vybrané ionty podle zadání obsluhy. Tím se podstatně zkrátí doba analýzy a zabrání se tak i přehlcení detektoru ionty o příliš vysokém zastoupení ve vzorku [30, 31, 33, 34].

2.3.2.5 Detekce iontů

Pro detekci a kvantifikaci počtu dopadlých iontů se v ICP-MS nejčastěji využívá vícekanálový elektronásobič. Jeho funkce je obdobná jako u klasického fotonásobiče a spočívá v mnohonásobném zesílení elektrického signálu, vzniklého dopadem měřeného iontu na měrnou plošku (obvykle polovodiivý oxid olova), na kterou je vložen elektrický potenciál o velikosti přibližně -3 kV. Dopadem pozitivně nabitého iontu Me^+ dojde k vypuzení velkého počtu tzv. sekundárních elektronů, které jsou dále směřovány elektrickým polem k dalším elektrodám a znovu zesilovány, až je na výstupu detektoru získán měřitelný elektrický proud [30, 31, 33, 34].

Při vlastním měření v přístroji ICP-MS jsou kvadrupólovým separátorem na detektor směřovány ionty o zvolené hmotnosti vždy po dobu 10 – 100 ms a počet dopadajících iontů je zaznamenán řídicím počítačem. Poté jsou na detektor nasměrovány další ionty o jiné atomové hmotnostní konstantě a celý proces se opakuje. Proměření celého zadaného spektra iontů se opakuje 100 – 1000 x a výsledný signál je počítán jako průměr ze všech těchto měření. Stejným způsobem probíhá i kalibrace přístroje, kdy jsou proměřovány standardní roztoky o známé koncentraci měřených prvků a na základě velikosti signálů těchto standardů jsou finálně vypočteny koncentrace měřených prvků v analyzovaných vzorcích [30, 31, 33, 34].

2.3.3 Omezující faktory

Přestože technika ICP-MS poskytuje vynikající detekční limity pro velké množství analyzovaných prvků, existují i zde jistá omezení, která limitují použití této metody. Tato omezení jsou dána jak technickými možnostmi současné instrumentální techniky, tak fyzikálními vlivy vyplývajícími z vlastností měřených iontů [30, 31, 33, 34].

2.3.3.1 *Salinita měřených roztoků*

Jedním ze základních omezujících faktorů pro použití metody ICP-MS je obsah solí v analyzovaných vzorcích. Důvody jsou jednak fyzické nanášení zbytků solí na povrch vstupních kónů a následném zmenšování jejich reálného průměru (*blokování kónu*) a dále změna fyzikálních podmínek v argonovém plazmatu, kdy v přítomnosti velkého množství solí dochází k energetickým posunům a následně ke generaci rozdílného množství iontů měřených prvků ve vzorku a kalibračním roztoku [30, 31, 33, 34].

Prakticky to znamená, že množství solí v analyzovaném vzorku by nemělo překročit hranici 2 - 5 g soli na l vzorku a pokud analyzovaný vzorek tyto parametry nesplňuje, je třeba ho zředit. Z běžně analyzovaných vzorků se to nejvíce týká například mořské vody, krevní plasmy nebo krve, moči a řady dalších běžných vzorků [30, 31, 33, 34].

2.3.3.2 *Vysoký ionizační potenciál*

Přestože energie argonového plazmatu je dostatečně vysoká pro vygenerování velké většiny iontů Me^+ , existuje několik chemických prvků, které vykazují prakticky nulovou nebo velmi nízkou populaci kladně nabitých iontů po průchodu plazmatem. Typickou skupinou jsou halogenidy, například fluor s ionizačním potenciálem překračujícím 16 eV se touto technikou prakticky nedá analyzovat, následující chlór pak vykazuje přibližně tisíckrát nižší citlivost než běžné kovové prvky a detekční limit pro brom leží na úrovni jednotek ppb [30, 31, 33, 34].

Mezi další mírně problematické prvky patří rtuť nebo fosfor s ionizačními potenciály na úrovni 10 – 11 eV a jejich mez stanovitelnosti proto leží v oblasti desetin ppb [30, 31, 33, 34].

2.3.3.3 *Tvorba dvojnásobně nabitých iontů*

Existují chemické prvky, jejichž druhý ionizační potenciál leží v oblasti energetického výkonu používaného argonového plazmatu. V takovém případě se vytváří významný podíl iontů Me^{2+} , které při dopadu na detektor vyvolávají falešný signál prvku o hmotnosti $Me/2$ [30, 31, 33, 34].

Typickými prvky jsou v tomto případě baryum nebo prvky vzácných zemin, lanthanoidy. Při analýze vzorků s vyšším obsahem těchto prvků je proto nutné korigovat parametry iontové optiky tak, aby počet dvojnásobně nabitých iontů dopadajících na detektor byl co nejnižší [30, 31, 33, 34].

Další možností eliminace tvorby dvojnásobně nabitých iontů je pak úprava podmínek v plazmatu tak, aby podíl těchto iontů byl co nejmenší (především snížením energetického příkonu do plazmatu). Je však třeba pamatovat na to, že je nutné současně vytvořit i dostatečně silnou populaci měřených iontů a podmínky analýzy jsou pak jistým kompromisem mezi oběma extrémy – minimální tvorbou dvojnásobně nabitých iontů a maximálním množstvím vznikajících iontů měřeného prvku [30, 31, 33, 34].

2.3.3.4 *Izobarické překryvy*

Většina chemických prvků se v přírodě vyskytuje jako směs několika stabilních izotopů a dochází proto velmi často k situaci, že na určité hodnotě atomové hmotnostní konstanty se současně vyskytuje několik izotopů různých prvků. Přesto však lze pro každý prvek s výjimkou india nalézt takový izotop, u kterého k překryvu nedochází [30, 31, 33, 34].

Přesto je však v řadě případů výhodné měřit i takový izotop, který je současně zatížen překryvem jiného prvku. Je to především tenkrát, kdy měřený izotop vykazuje na dané atomové hmotnostní konstanty vysoké zastoupení a interferující prvek má zastoupení nízké nebo je pravděpodobnost výskytu interferentu ve vzorku velmi nízká [30, 31, 33, 34].

Obecně lze problém izobarických překryvů poměrně jednoduše řešit zavedením matematických korekcí, kdy je od signálu měřeného prvku odečtena alikvotní část signálu interferujícího iontu, která se zjistí ze signálu jiného iontu interferujícího prvku [30, 31, 33, 34].

Příkladem je měření signálu izotopu ^{115}In , kde se současně vyskytuje i izotop cínu ^{115}Sn , jehož celkové průměrné zastoupení činí pouze 0,35 % veškerých cínových atomů. Při měření se tady současně načítá signál iontů ^{118}Sn se zastoupením 24,03 % celkového cínu. Při vyhodnocení obsahu In ve vzorku se pak od signálu na hmotě 115 odečte $(0,35/24,03)$ signál na hmotě 118, které odpovídá interferenci atomů cínu [30, 31, 33, 34].

2.3.3.5 *Polyatomické interference*

Polyatomické interference jsou patrně nejproblematictější stránkou praktické analýzy metodou ICP-MS. Jedná se o jev, při kterém v argonovém plazmatu dochází k tvorbě poměrně stabilních částic, tvořených převážně dvěma atomy s jedním kladným nábojem. Takové částice pak poskytují falešný kladný signál na hmotě, odpovídající součtu hmot svých atomů a v konečném důsledku tak nedefinovaným způsobem zvyšují množství analyzovaných prvků [30, 31, 33, 34].

Je třeba si uvědomit, že k tvorbě těchto částic může docházet pouze tehdy, když jejich atomy jsou zastoupeny v plazmatu ve velkém množství. U běžných vzorků jsou proto nejobávanějšími polyatomickými částicemi ty, které jsou složeny z atomů Ar, O, H, Cl, C, S nebo Si, tedy prvků, která jsou složkou většiny analyzovaných vzorků nebo tvoří samotné médium plazmatu (Ar a H_2O) [30, 31, 33, 34].

Typickým příkladem je polyatomický ion $^{35}\text{Cl } ^{40}\text{Ar}^+$, který působí falešný kladný signál na velmi často měřeném arsenu ^{75}As nebo $^{16}\text{O } ^{40}\text{Ar}^+$, působící problémy u nejvíce zastoupeného iontu železa - ^{56}Fe [30, 31, 33, 34].

Eliminace polyatomických interferencí je i v současné době stále předmětem rozsáhlého výzkumu. Technicky jsou přitom měněny energetické podmínky v plazmatu, experimentuje se se způsobem vnášení vzorku do plazmatu (ochlazování zmlžovače), přidávají se pomocné plyny jako vodík nebo metan a hledají se i další možnosti. Matematicky se provádějí korekce signálu na základě měření množství atomů vytvářejících polyatomické ionty nebo měřením poměrů jiných izotopů s podobným typem interference [30, 31, 33, 34].

2.4 Metoda Atomové absorpční spektrometrie AAS

Atomová absorpční spektrometrie je metoda kvantitativní elementární analýzy pro více než 60 prvků (převážně kovových). Je vhodná pro vzorky ve formě zředěných roztoků, vodných i nevodných, ojediněle i pro plyny. Vyniká velkou citlivostí a je pro daný prvek specifická. Umožňuje tedy stanovení prvku i v přítomnosti velkého přebytku doprovodných látek bez předchozích složitějších separací a úprav. Tato okolnost podstatně zkracuje dobu analýzy [41].

Použití AAS ovšem předpokládá převedení látky z roztoku na formu volných atomů v plynné fázi. Tento proces – atomizace vyžaduje prostředí s vysokou teplotou (2000 – 3000 K) [41]. Atomová absorpční spektrometrie využívá absorpce elektromagnetického záření v intervalu vlnových délek cca 190-850 nm volnými atomy látek. Podle Kirchhoffova zákona absorbují volné atomy v plynu záření těch vlnových délek, které emitují. Tento jev lze pozorovat jako tzv. Fraunhoferovy čáry ve slunečním spektru [42]. Prvek se stanovuje při vlnové délce některé rezonanční čáry, obvykle té, u které je absorpce nejintenzivnější, což souvisí s pravděpodobností přechodu optického elektronu do příslušné excitované hladiny. Při podmínkách měření v AAS jsou nejpravděpodobnější a nejčtenější přechody ze základního, atomy nejobsazenějšího stavu na první excitovanou hladinu. Absorpční přechody na vyšší excitované hladiny jsou méně pravděpodobné [42]. Tato absorpce se projevuje v UV-VIS oblasti a je základem atomové absorpční spektrometrie. Atomy mohou absorbovat záření takových vlnových délek, aby byla splněna podmínka (1) [43]:

$$E_1 - E_0 = \frac{h \cdot c}{\lambda_1}, \quad (1)$$

kde:

E_0 = energie základní hladiny,

E_1 = energie vyšší (excitované) hladiny,

c = rychlost světla ve vakuu,

h = Planckova konstanta,

λ_1 = vlnová délka příslušného přechodu.

Přístroj používaný pro popsanou metodu se jmenuje atomový absorpční spektrometr (**obr. 23**). Skládá se ze zdroje záření, zařízení k modulaci toku záření, absorpčního prostoru, rozkladného zařízení, detektoru, měřícího, popř. registračního zařízení a z pomocného zařízení pro uvádění kapalného vzorku do přístroje. Zdrojem záření je výbojka s dutou katodou, naplněna neonem nebo argonem o nízkém tlaku. Dutá katoda je zhotovena ze slitiny, jež obsahuje stejný kov, který se má stanovovat. Po připojení výbojky ke zdroji stejnosměrného nebo pulsujícího napětí asi 300 V vzniká v duté katodě doutnavý výboj, který je zdrojem záření vlnových délek emisních spekter kovů, z nichž je katoda zhotovena [44].

Atomové absorpční spektrometry mohou být konstruovány jako jednopaprskové nebo dvoupaprskové [44]. Dvoupaprskový měřicí systém srovnává emitované monochromatické záření před a po průchodu absorpčním prostředím, tj. poměr I_0/I . Tím se eliminuje případná nestabilita zdroje záření. Záření z výbojky dopadá na rotující zrcátkový selektor, který je rozděluje na měřený a srovnávací paprsek. Oba paprsky jsou vedeny soustavou zrcadel přes polopropustné zrcadlo do monochromátoru [45].

Vedle selektivní absorpce záření atomy prvků vzorku může také docházet k neselektivní absorpci způsobené rozptylem monochromatického záření na nedokonale atomizovaných částicích solí a na pevných částicích těžko rozložitelných sloučenin (převážně oxidů). Tento rušivý jev se eliminuje pomocí kompenzátoru neselektivní absorpce, který umožňuje srovnávat naměřenou absorpci monochromatického záření s absorpcí spojitého záření [45].



Obr. 23: Atomový absorpční spektrometr [46]

Jako detektor slouží fotoelektrický násobič s křemenným okénkem. Citlivá fotoemisní vrstva katody pokrývá téměř celou oblast sledovaných vlnových délek. Důležité je, aby detektor pracoval bez setrvačnosti. Protože přeměňuje na proud všechno dopadající záření (jak měřené modulované záření výbojky, tak i nemodulované záření z plamene), používá se v kombinaci se střídavým zesilovačem sladěným přesně s modulační frekvencí výbojky. Tím se oddělí signál nežádoucího záření plamene [41].

Problémem při měření absorpance je, že záření ze zdroje může být při průchodu absorpčním prostředím zeslabeno nejen absorpcí volnými atomy sledovaného prvku, ale i nespecifickou absorpcí (absorpce pozadí). Absorpce pozadí je způsobena rozptylem světla na nevypařených pevných částicích a molekulární absorpcí (způsobenou přítomností molekul anorganických solí z rozloženého vzorku). Vzhledem k aditivním vlastnostem absorpance se nespecifická absorpce při měření přičítá k signálu analytu a vyvolá tedy vždy pozitivní chybu. Proto se v moderních přístrojích pro provádění AAS provádí simultánní korekce pozadí k níž se využívá některých speciálních jevů a metodik [47].

➤ Princip metody

Roztok analytického vzorku je zmlžěn a vzniklý aerosol je zaveden do plamene, kde se roztok okamžitě odpaří a rozruší se chemické vazby v molekulách přítomných sloučenin. Podmínky atomizace jsou přitom voleny tak, aby co největší populace měřených atomů zůstala v neutrálním stavu a nedocházelo k ionizaci za vzniku nabitých částic typu Me^+ [48, 49].

Plamenem prochází paprsek světla ze speciální výbojky, jehož fotony jsou při setkání s atomy analyzovaného prvku absorbovány a atom prvku přechází do příslušného vzbuze­ného stavu. Dochází tak k úbytku intenzity procházejícího světla a tento úbytek je dán Lambert-Beerovým zákonem ve tvaru (2) [48, 49]:

$$I = I_0 \cdot e^{-(k \cdot n \cdot l)}, \quad (2)$$

kde:

I_0 = intenzita budícího záření,

I = intenzita záření po průchodu absorbujícím prostředím (plamenem),

k = atomový absorpční koeficient pro danou absorpční čáru,

n = počet atomů analyzovaného prvku v jednotce objemu,

l = délka absorpční vrstvy (délka hořáku, vytvářejícího plamen).

V praxi se pak jako měřená veličina používá logaritmus úbytku světelné energie nazvaný absorbance A , pro niž platí vztah (3) [48, 49]:

$$A = \log (I_0/I) = 2,303 \cdot k \cdot n \cdot l \quad (3)$$

Pro absorbanci pak platí velmi jednoduchá lineární závislost na koncentraci atomů měřeného prvku. Všechny AAS spektrometry proto udávají měřený signál v jednotkách absorbance po matematickém zpracování skutečně měřených intenzit procházejícího světla [48, 49].

2.5 Příprava vzorků

Převážná většina dnes používaných analytických měřících technik včetně spektroskopických metod pracují se vzorkem v kapalně formě a pokud možno s odstraněnou organickou osnovou. Způsob přípravy vzorku je jedním z nejdůležitějších kroků celé analýzy. Volba postupu zpracování vzorku pro určitou analytickou měřící techniku se řídí nejen charakterem analytu a jeho předpokládanou koncentrací, ale rovněž charakterem a vlastnostmi biologické matrice (pevná či kapalná), a potřebným objemem vzorku k analýze. Obecně, pevné vzorky vyžadují nějaký způsob rozkladu nebo rozpuštění. I když některé kapalně vzorky mohou být analyzovány přímo, je většinou nutné vzhledem k řadě matričních interferencí i tento typ vzorků před měřením upravit [50, 51].

➤ Metody rozkladu

Podle použitého postupu se metody rozkladu dělí na tři základní skupiny [50, 51]:

1. **METODY ROZKLADU NA SUCHÉ CESTĚ**
2. **METODY ROZKLADU NA MOKRÉ CESTĚ**
3. **OSTATNÍ METODY ROZKLADU**

➤ Metody rozkladu na suché cestě

Klasický suchý rozklad je proces spalování za přítomnosti vzduchu, v otevřeném systému a při atmosférickém tlaku. Celý postup sestává ze čtyř základních kroků – sušení, zuhelnění, zpopelnění a loužení popela, které jsou někdy doplněny dalšími kroky. Aby bylo dosaženo vyšší účinnosti rozkladu, a tím dokonalejší destrukce organického materiálu, je někdy přidáváno ve fázi zuhelnění nebo po zpopelnění ke vzorku tzv. pomocné činidlo [50, 51].

Zdrojem tepla při sušení (60 – 120 °C) může být laboratorní horkovzdušná sušárna, infračervená lampa, lyofilizátor, topná deska (vhodná zvláště pro vzorky s vysokým obsahem

vody). Při zuhelnění je vzorek vystaven teplotám mezi cca 200 °C a 400 °C. Je to kritická část klasického suchého rozkladu, protože v této fázi probíhají silně exotermní rozkladné procesy. Klíčem k úspěchu je převedení kroku zuhelnění z muflové pece na horkou desku a dále vhodně zvolený teplotně – časový režim. Lze použít buď velmi pozvolného nárůstu teploty, nebo rychlejšího nárůstu s řadou časových prodlev [50, 51].

Moderní verze suchého rozkladu pracují v uzavřeném nebo polozavřeném systému a často v atmosféře kyslíku nebo směsi plynů (ozón, oxidy dusíku, halogeny) [50, 51].

➤ **Metody rozkladu na mokré cestě**

Klasický mokrý rozklad se provádí ve směsi koncentrovaných minerálních kyselin za zvýšené teploty a při atmosférickém tlaku. Biologická matrice je oxidována příslušnými činidly a probíhající chemické reakce lze popsat dvěma kroky. Nejprve je rozrušena struktura matrice kyselou hydrolýzou a její meziprodukty jsou následně oxidovány. Rychlost reakce je závislá na reakční teplotě a na eventuálně přidaných katalyzátorech (např. sloučenin V nebo Mo). Rozklad probíhá za nižších teplot než u suchého rozkladu, neboť maximální teplota je určena bodem varu kyselin či jejich směsí. Jako oxidační činidla jsou nejčastěji používána především samotná HNO_3 a reakční směsi: $\text{HNO}_3/\text{H}_2\text{O}_2$, $\text{HNO}_3/\text{H}_2\text{SO}_4$, $\text{HNO}_3/\text{HClO}_4$, $\text{HNO}_3/\text{HClO}_4/\text{H}_2\text{SO}_4$. Nejúčinnější jsou směsi obsahující HClO_4 při vyšších teplotách. Použití HClO_4 je však podmíněno dodržением přísných bezpečnostních opatření. Pro rozklad rostlinných materiálů s vysokým či zvýšeným obsahem křemičitanů se používá kyselina fluorovodíková. V kombinaci s HNO_3 nebo se směsí $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ či HClO_4 ji používá řada laboratoří [50, 51].

Mokrý rozklad může probíhat buď v otevřeném systému s konvenčním ohřevem (např. kovový blok, topná deska), nebo s mikrovlnným ohřevem anebo v uzavřeném systému s konvenčním ohřevem (*High Pressure Aster*) nebo s mikrovlnným ohřevem [50, 51].

➤ **Ostatní metody rozkladu**

Mezi ostatní postupy rozkladu patří oxidační tavení, redukční rozklad, rozklad halogeny, enzymový či hydrolytický rozklad a rozklad zářením. V našich laboratořích tyto postupy nejsou tak běžné jako dva výše uvedené. Poměrně často se používají i kombinace dvou metod rozkladu. Běžným případem je tlakový rozklad následovaný suchým rozkladem odparku tlakového digerátu. Jindy se vzorek nejprve vystaví suchému rozkladu a popel se následně rozkládá na mokré cestě [50].

➤ **Další způsoby přípravy vzorku**

Další způsoby přípravy vzorku pro AAS a ICP jsou metoda zředování vhodným diluentem, deproteinace, extrakce kyselinami, extrakce roztoky chelatačních činidel nebo jinými rozpouštědly, solubilizace, prekoncentrace či separace analytu, metoda dávkování tuhých vzorků (*solid sampling*), metoda dávkování suspenzí (*slurry sampling*), generování hydridů a další způsoby úpravy vzorku podle jeho typu a druhu stanovovaného prvku [50].

➤ **Rozklady podporované mikrovlnným zářením**

Velké rozšíření rozkladů podporovaných mikrovlnným ohřevem bylo způsobené hlavně v důsledku [52]:

- *Významného zkrácení času potřebného na rozklad vzorků.*
- *Dosáhnutí praktický úplného rozrušení matrixu vzorků.*
- *Snížení množství používaných kyselin a jiných činidel.*
- *Zlepšení hygieny práce apod.*

Vysoká efektivita mikrovlnně podporovaných rozkladů je dosahována v důsledku rychlého generování tepla přímo uvnitř vzorku, přeměnou energie mikrovlnného záření na teplo, přičemž materiál rozkladných nádob působí jako izolátor směrem ven [52].

➤ **Otevřené a polootevřené rozklady**

Probíhají při teplotě varu rozkladných činidel, resp. teplotě varu azeotropických směsí kyselin. Pracuje se při normálním tlaku, využívají se systémy s usměrněným (fokusem) zářením, tedy zařízením majícím rozkladné nádoby umístěné v kruhovém rezonátoru [52].

➤ **Tlakové (uzavřené) rozklady**

v porovnání s otevřenými rozklady jsou efektivnější a přes zkrácení času rozkladu, dochází k dokonalejšímu rozložení matrixu vzorků.

Podle hodnoty tlaku během rozkladu, se tlakové rozklady dělí na [52]:

- *Rozklady za nízkého tlaku* – probíhají při nižším tlaku než 1 MPa
- *Rozklady za středního tlaku* – probíhají při tlaku nižším než 4 MPa
- *Rozklady za vysokého tlaku* – probíhají do tlaku 10 MPa

2.5.1 Metody přípravy vzorku pro měření ICP-MS

Přímá analýza biologických tekutin je komplikovaná a těžko realizovatelná, protože vysoký obsah proteinů přítomných v těchto vzorcích způsobuje řadu komplikací, např. blokádu pneumatického zmlžovače, centrální křemenné trubice a zanášení vzorkovacího otvoru vstupního kónusu [50].

Metoda ICP-MS vyžaduje, aby vzorek byl převeden do roztoku. V závislosti na požadavcích analýzy a specifických interferencích je někdy zařazován i krok separace či prekoncentrace [50].

➤ **Ředění**

Metodu ředění je možno používat pro analýzu krve, krevního séra a moče, neboť většina stanovovaných prvků se měří pomocí ICP-MS s detekčním limitem nižším než 1 mg.l⁻¹. Jako diluenty se používají roztoky EDTA, Triton X-100 a 0,14-0,28 mol.l⁻¹ HNO₃. Metoda ředění není vhodná pro měření prvků v rozmezí 40 – 80 amu (např. As, Cr, Se a V) vzhledem ke spektrálním interferencím způsobených tvorbou polyatomových částic (jako jsou ³⁵Cl¹⁶O⁺, ³⁵Cl¹⁶OH⁺ a ⁴⁰Ar³⁵Cl⁺) interakcí s NaCl přítomných v séru i v moči. Metoda ředění a následné stanovení kovů pomocí ETV-ICP MS se s úspěchem používá pro vzorky mořské vody [50].

➤ **Destruktivní rozklad biologické matrice**

Nejvíce používaný postup přípravy biologického vzorku je mineralizace na mokré cestě v otevřeném systému následovaná rozpuštěním a naředěním vzniklého digérátu. Pro tento postup je doporučována HNO₃, protože tato kyselina tvoří nejméně polyatomových interferencí na rozdíl od HClO₄ a H₂SO₄ [50].

➤ **Dávkování tuhého vzorku**

Využívá se v případech, kdy je potřeba zkrátit dobu potřebnou k přípravě vzorku před vlastním měřením, nebo u takových typů vzorků, kde hrozí kontaminace či ztráta analytů během manipulace se vzorkem (mineralizace) nebo u vzorků nebezpečných nebo obtížně mineralizovatelných [50].

Jedním z možných postupů dávkování pevného vzorku je zavádění vodné suspenze („*slurry sampling*“) jemného prášku do speciálního typu zmlžovače. Jiné možnosti dávkování tuhého vzorku jsou elektrotermické vypařování a laserová ablace [50].

2.6 Statistické zpracování dat

➤ **Aritmetický průměr \bar{x}**

Je to odhad střední hodnoty a vyjadřuje jej vztah (4) [53]:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \quad (4)$$

kde jsou: x_i ... jednotlivé naměřené údaje,
 n ... počet hodnot x

➤ **Medián \tilde{x}**

Je hodnota, jež dělí řadu podle velikosti seřazených výsledků na dvě stejně početné poloviny. Stejně jako aritmetický průměr slouží k odhadu střední hodnoty [53].

➤ **Směrodatná odchylka s**

Vyjadřuje rozptyl hodnot kolem střední hodnoty, tj. vypovídá o tom, jak se hodnoty od této střední hodnoty (průměru) liší, resp. jak hustě jsou kolem tohoto průměru seskupeny (5) [53].

$$s = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}, \quad (5)$$

kde jsou: x_i ... jednotlivé naměřené údaje
 \bar{x} ... aritmetický průměr
 n ... počet hodnot x

➤ **Mez detekce L_D (Limit of detection)**

Mez detekce daného analytického postupu je dána nejmenším množstvím analytu ve vzorku, které může být detekováno, ale které nemusí být stanovitelné jako exaktní hodnota (6) [53].

$$L_D = 3,29 \cdot s_{bl}, \quad (6)$$

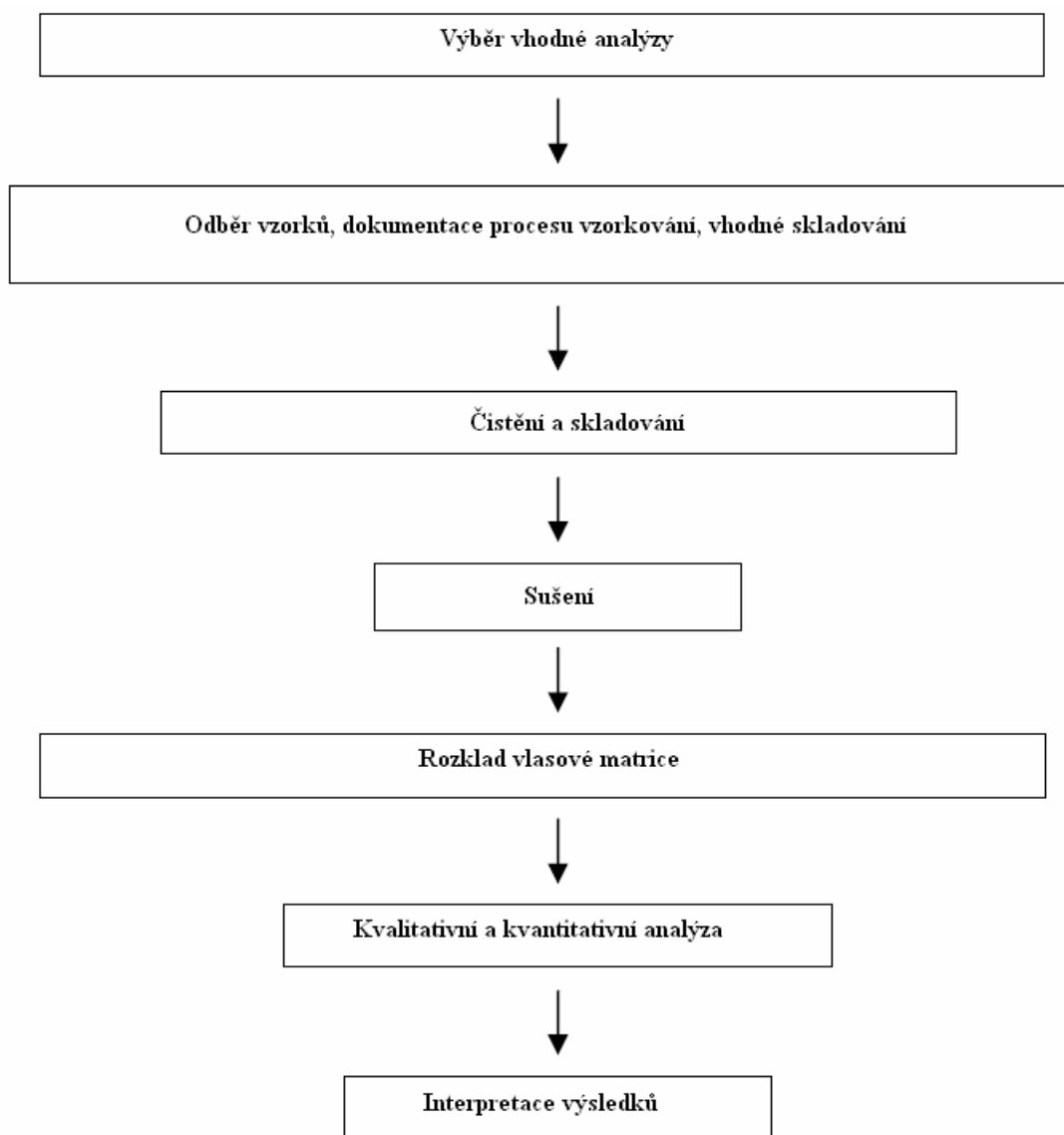
kde je: s_{bl} ... směrodatná odchylka blanku – slepého pokusu.

3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Pro experimentální část bylo odebráno 100 vzorků mužských vlasů. Vzorky byly odebírány mužům mezi 19-tým až 74-tým rokem. U vzorků byl uváděn věk osob poskytující vzorky a oblast odkud osoby pocházely. V tomto případě se jednalo o stejnou oblast. Barvu vlasů uvádí následující tabulka (**tab. 7**). Vlasy byly po odběru uchovány v papírových obálkách na suchém a čistém místě pro následující analýzu.

Pro analýzu byla vybraná metoda ICP-MS a vzhledem k tomu, že vlasy jsou pevné látky, tak musely být pro další analýzu rozloženy. Byl vybrán mokrá rozklad za pomoci mikrovlnného záření. Před rozkladem bylo nutné vlasy pročistit acetonem.

Na analýzu byly vybrány z makroprvků hořčík a draslík, ze stopových prvků železo, zinek, mangan a selen a z toxických prvků arsen, kadmium a olovo. Před samotným proměřením vzorků byl nastaven přístroj ICP-MS a program v počítači, se kterým je přístroj propojen. Zjištěná data byla nakonec vyhodnocena. Celý postup analýzy znázorňuje schéma obrázku (**obr. 24**).



Obr. 24: Kroky analýzy vlasů [54]

Tab. 7: Získané údaje o vzorcích vlasů.

Rok narození	Množství vzorků	Barva vlasů
1936	2	šedivé, bílé
1937	2	bílé
1939	1	bílé
1940	1	šedivé
1942	2	šedivé
1944	1	šedivé
1946	4	šedivé
1947	2	šedivé
1950	2	šedivé
1951	2	šedivé
1952	3	šedivé
1953	2	šedivé
1954	3	šedivé, hnědé
1955	4	šedivé, hnědé
1956	1	šedivé
1957	3	hnědé
1958	3	šedivé
1959	2	šedivé
1960	2	šedivé, hnědé
1961	1	hnědé
1963	6	hnědé, černé
1964	1	hnědé
1965	2	hnědé
1966	4	hnědé, černé
1967	2	hnědé
1968	4	šedivé, hnědé
1969	3	šedivé, blond
1970	3	hnědé
1971	2	hnědé
1972	1	hnědé
1973	3	hnědé
1974	2	blond, hnědé
1975	2	hnědé
1976	2	hnědé
1977	2	hnědé
1978	2	černé, blond
1979	4	hnědé, černé,
1980	1	hnědé
1981	2	šedivé, blond
1983	1	hnědé
1984	2	hnědé
1985	1	hnědé
1986	1	hnědé
1989	1	hnědé
1990	2	hnědé
1991	1	hnědé

3.1 Odběr vzorků

Vzorky vlasů byly odebírány z týlní oblasti do maximální délky 5 cm od hlavy a velikosti vzorku o hmotnosti 0,5 – 1 g. Jako postačující hmotnost vzorku byla zjištěna hodnota 0,25 g. Odběr vzorků i jejich uchovávání při pokojové teplotě bylo prováděno tak, aby se zabránilo vnější kontaminaci. Standardizovaný postup byl zaveden z důvodu velice komplikovaného rozlišení endogenních a exogenních vlivů na jejich složení. Vzdálenější části vlasů byly déle vystavovány působení vnějšího okolí a kontaminantů, obsahují tak i vyšší koncentrace analytů [54].

Po odběru, před analýzou bylo nutné vlasy vhodně umýt, aby byly zbaveny co největšího množství vnějších kontaminantů. Mezinárodní agentura pro atomovou energii a Světová zdravotní organizace doporučují postup mytí, který spočívá v promývání acetonem (čistota p. a.), následně třikrát demineralizovanou vodou a ještě jednou zopakovat promytí acetonem. Každý krok spočívá v asi 10-ti minutové dekantaci vzorku v roztoku činidla tak, aby byl celý vzorek zcela ponořen. [54]

3.2 Příprava a rozklad vzorků

Jelikož se jedná o pevné vzorky a pro metodu ICP-MS je zapotřebí kapalných vzorků, musí se odebrané vzorky rozložit. Rozklad byl prováděn za působení mikrovlnného záření spolu s doporučenými oxidačními činidly.

3.2.1.1 *Přístroje a pomůcky*

- Analytické laboratorní digitální váhy AND HA – 202 M (A&D Copany, Tokio, Japonsko).
- Jednotka pro přípravu ultračisté vody PureLab Classic UV (Elga, Marlow, Velká Británie).
- Mikrovlnná pec Milestone 1200 s karuselem na 6 vzorků (Milestone, Shelton, USA).
- Mikropipety, kádinky, odměrné baňky (25 ml) a odměrné válce.

3.2.1.2 *Chemikálie*

- Ultradeionizovaná voda (PureLab Water).
- HNO₃, p. a., Analpure (Analytika, Praha).
- H₂O₂, p. a. (Analytika, Praha).
- Standardy jednotlivých prvků – Mg, K, Fe, Zn, Mn, Se, As, Cd, Pb (Analytika, Praha).

3.2.1.3 Postup rozkladu a přípravy vzorku pro analýzu

Nejprve se na analytických vahách odměřilo 250 mg vzorku. Odměřený vzorek se kvantitativně převedl do suché a čisté teflonové nádoby používané pro mikrovlnnou pec a ty byly následně vsazeny do polypropylenových nádob. Tyto nádoby mají ve víčku malý otvor, kterým mohou odcházet páry v případě přetlaku. Tento přetlak je definován velikostí tlaku použitého k uzavření těchto nádob. Ke vzorku bylo přidáno 5 ml koncentrované kyseliny dusičné a 2 ml peroxidu vodíku pro stopovou analýzu.

Po uzavření do karuselu a mikrovlnné pece (**obr. 25**) byl nastaven program č. 88 – *DUROLAM* (**tab. 8**), který byl použit pro všechny typy vzorků.

Tab. 8: Program rozkladu

Krok	Čas [min]	Výkon [kW]
1.	1	250
2.	1	0
3.	5	250
4.	5	400
5.	5	600

Přístroj byl umístěn do digestoře, aby případné páry, především oxidů dusíku odcházely do sání. Po proběhnutí programu následovalo 5 minut ventilace. Rozložený kapalný vzorek byl kvantitativně převeden do 25 ml odměrné baňky a doplněn mírně kyselou destilovanou vodou po rysku odměrné baňky. Vzorek byl promíchán a uchován v lednici pro analýzu.



Obr. 25: Mikrovlnná rozkladná pec [55]

3.3 Instrumentální podmínky měření ICP-MS

3.3.1 Popis přístroje

Přístroj ICP-MS musí být před každou analýzou nastaven. Typ přístroje, který byl při analýze používán a jeho nastavení shrnuje následující tabulka (**tab. 9**).

Tab. 9: *Typ a nastavení přístroje*

Přístroj	X-SERIES ICP MS, THERMO	
Průtok plynu (argon)	plazmového	15,00 l.min ⁻¹
	pomocného	0,90 l.min ⁻¹
	nosného	0,85 l.min ⁻¹
	makeup	0,25 l.min ⁻¹
Příkon do ICP	1350 W	
Hloubka vzorkování	14 mm	
Zmlžovač	typ	koncentrický
	průtok	1 ml.min ⁻¹
Mlžná komora	typ	kuželová komora s impaktorem
	teplota	4 °C

3.3.2 Příprava kalibračních roztoků

Pro vlastní měření byly připraveny multielementární kalibrační roztoky a to smísením standardních roztoků jednotlivých prvků, které byly vybrány pro analýzu. Těmito prvky byly Mg, K, Fe, Zn, Mn, Se, As, Cd, Pb. Nejprve byl smícháním standardu vytvořen zásobní roztok a z něj byly vytvořeny roztoky o koncentraci 10 a 100 µg.l⁻¹

4. VÝSLEDKY A DISKUZE

4.1 Výsledky

4.1.1 Hořčík Mg

Hodnoty koncentrací roztoků určených pro kalibraci hořčíku jsou uvedeny v následující tabulce (**tab. 10**).

Tab. 10: Hodnoty kalibrace hořčíku

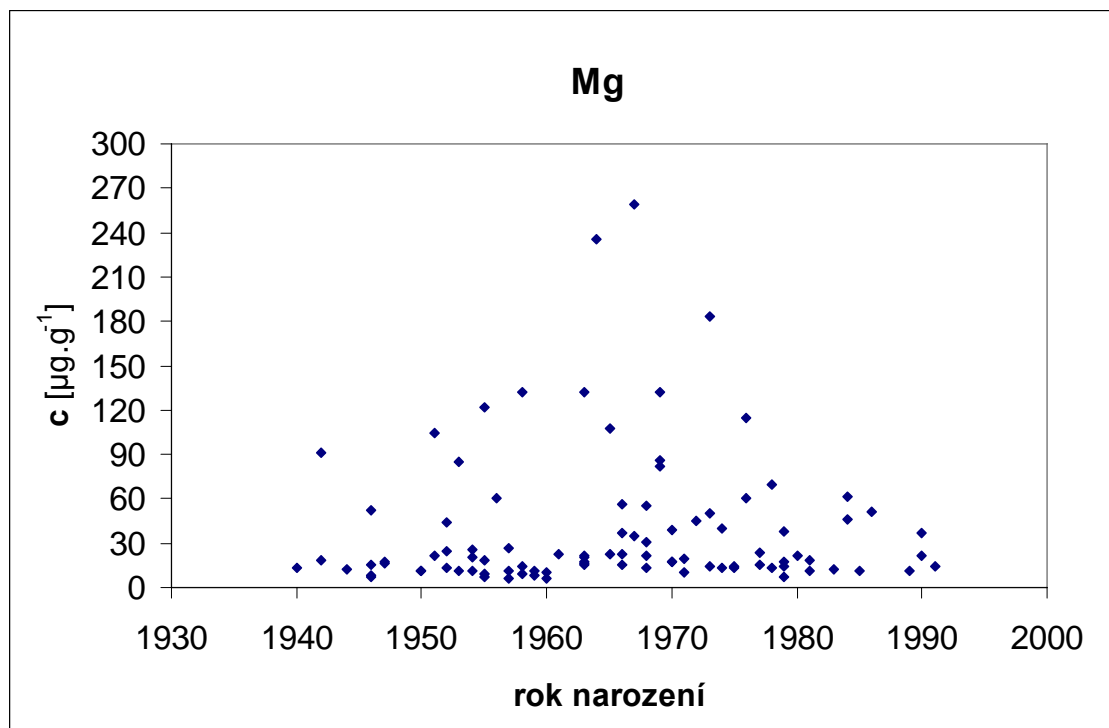
roztok	c ($\mu\text{g.l}^{-1}$)	Intenzita (cps)
blank	0	4555
1.	10	155139
2.	100	1505034

Následující tabulka (**tab. 11**) vyjadřuje seřazení 15-ti vybraných vzorků podle koncentrace hořčíku ve vlasech. Začíná nejmenší zjištěnou hodnotou a končí největší hodnotou koncentrace. Data pro všechny vzorky jsou uvedena v příloze 8.1, kde jsou seřazena podle roku narození.

Tab. 11: Obsah hořčíku v analyzovaných vlasech

vzorek	rok narození	c ($\mu\text{g.l}^{-1}$)	c ($\mu\text{g.g}^{-1}$)
1	1957	63	6
2	1936	82	8
3	1960	99	10
4	1944	121	12
5	1947	167	16
6	1951	174	22
7	1952	243	24
8	1966	360	36
9	1968	563	55
10	1984	641	62
11	1969	840	81
12	1965	1092	107
13	1963	1338	132
14	1973	1853	183
15	1967	2610	259

Graf zastoupení hořčíku ve vlasech v závislosti na věku (**graf 1**) znázorňuje hodnotu koncentrací hořčíku pro jednotlivé vzorky podle data narození jednotlivých mužů darující zkoumané vzorky.



Graf 1: Zastoupení hořčíku ve vlasech v závislosti na věku

Následující tabulka (**tab. 12**) uvádí zjištěné statistické údaje hořčíku, které byly získány statistickým vyhodnocením naměřených dat.

Tab. 12: Statistické údaje naměřených hodnot hořčíku

Medián ($\mu\text{g.g}^{-1}$)	Maximální hodnota ($\mu\text{g.g}^{-1}$)	Minimální hodnota ($\mu\text{g.g}^{-1}$)
19	259	6

Při proměrování vzorků pro zastoupení hořčíků ve vlasech. Byla zjištěna hodnota mediánu koncentrace hořčíku ve vlasech, která byla $19 \mu\text{g.g}^{-1}$. Z grafu zastoupení hořčíku ve vlasech je zřejmé, že převážná část výsledků koncentrace hořčíku se pohybuje v rozsahu 10 až $30 \mu\text{g.g}^{-1}$. Minimální hodnota koncentrace je $6 \mu\text{g.g}^{-1}$ a maximální hodnota koncentrace je $259 \mu\text{g.g}^{-1}$. Tyto maximální hodnoty se vyskytovaly u lidí starých 40-ti až 50-ti let, což mohlo být způsobeno i vyšší konzumací doplňků stravy. Minimální hodnoty koncentrace byly zpozorovány u lidí narozených mezi lety 1936 – 1960, což je nejstarší věková kategorie této analýzy. Tento minimální obsah hořčíku ve vlasech mohl být způsoben především jejich věkem a následkem léčby možných onemocnění.

4.1.2 Draslík K

Hodnoty koncentrací roztoků určených pro kalibraci draslíků jsou uvedeny v následující tabulce (**tab. 13**).

Tab. 13: Hodnoty kalibrace draslíku

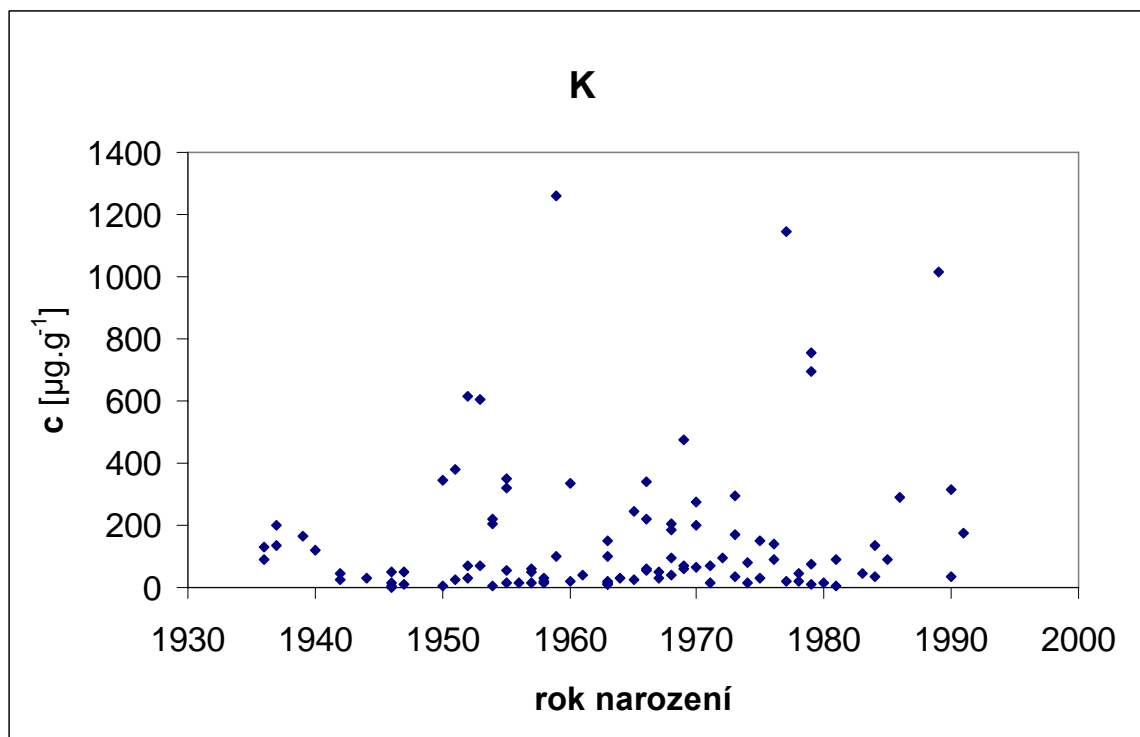
roztok	c ($\mu\text{g.l}^{-1}$)	Intenzita (cps)
blank	0	423252
1.	10	734554
2.	100	2387820

Následující tabulka (**tab. 14**) vyjadřuje seřazení 15-ti vybraných vzorků podle koncentrace draslíku ve vlasech. Začíná nejmenší zjištěnou hodnotou a končí největší hodnotou koncentrace. Data pro všechny vzorky jsou uvedena v příloze 8.2, kde jsou seřazena podle roku narození.

Tab. 14: Obsah draslíku v analyzovaných vlasech

vzorek	rok narození	c ($\mu\text{g.l}^{-1}$)	c ($\mu\text{g.g}^{-1}$)
1	1946	9	0,9
2	1990	391	37,0
3	1947	1196	48,0
4	1955	586	57,0
5	1970	692	65,0
6	1979	792	75,0
7	1974	840	82,0
8	1976	888	88,0
9	1936	973	90,0
10	1940	1846	118,0
11	1965	2503	245,0
12	1966	1323	341,0
13	1969	4907	476,0
14	1953	6014	605,0
15	1959	9320	1260,0

Graf zastoupení draslíku ve vlasech v závislosti na věku (**graf 2**) znázorňuje hodnotu koncentrací draslíku pro jednotlivé vzorky podle data narození jednotlivých mužů darující zkoumané vzorky.



Graf 2: Zastoupení draslíku ve vlasech v závislosti na věku

Následující tabulka (**tab. 15**) uvádí zjištěné statistické údaje draslíku, které byly získány statistickým vyhodnocením naměřených dat.

Tab. 15: Statistické údaje naměřených hodnot draslíku

Medián (µg.g ⁻¹)	Maximální hodnota (µg.g ⁻¹)	Minimální hodnota (µg.g ⁻¹)
68	1261	0,9

Po proměření vzorků a následném vyhodnocení výsledků byla pro prvek draslík zjištěna hodnota mediánu koncentrace draslíku 68 µg.g⁻¹. Maximální hodnota koncentrace draslíku byla 1261 µg.g⁻¹ a minimální hodnota koncentrace byla 0,9 µg.g⁻¹. U převážné části analyzovaných vzorků se hodnota koncentrace pohybovala mezi 1 až 100 µg.g⁻¹. Nízké hodnoty koncentrace mohly být způsobeny vysokým věkem, odvodněním organismu, různými chirurgickými zákroky a následkem léčby možných onemocnění. Vysoké hodnoty koncentrace draslíku byly pravděpodobně způsobeny vyšším příjmem doplňků stravy.

4.1.3 Železo Fe

Hodnoty koncentrací roztoků určených pro kalibraci železa jsou uvedeny v následující tabulce (**tab. 16**).

Tab. 16: *Hodnoty kalibrace železa*

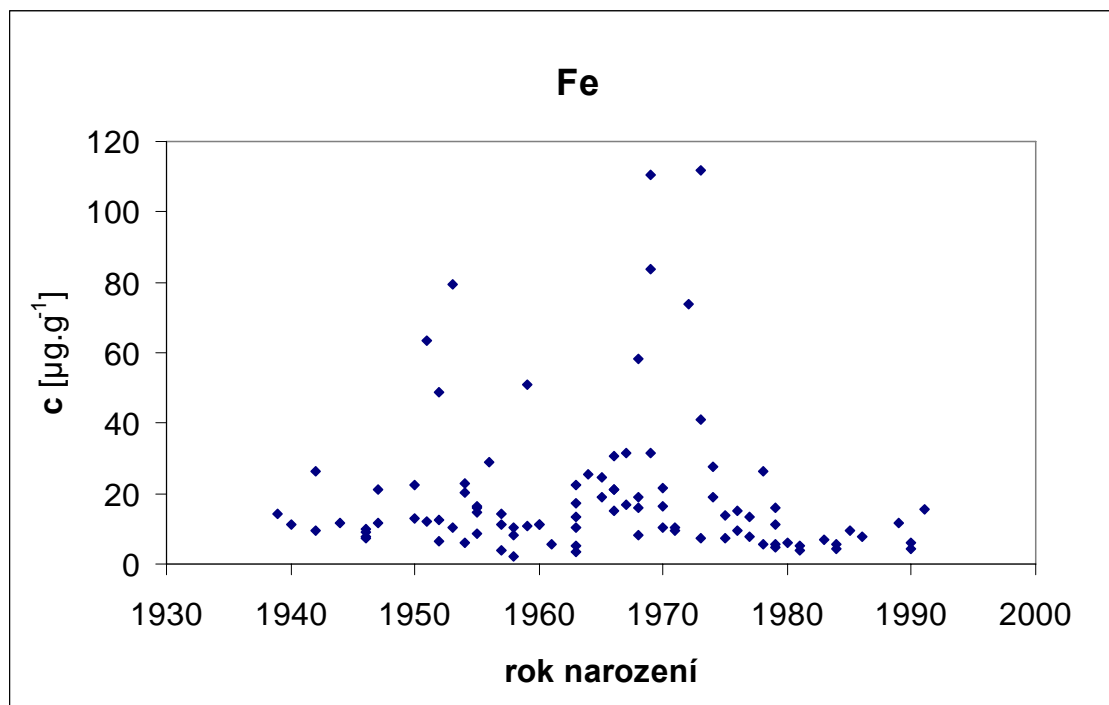
roztok	c ($\mu\text{g.l}^{-1}$)	Intenzita (cps)
blank	0	754505,02
1.	10	877696,58
2.	100	1841831,39

Následující tabulka (**tab. 17**) vyjadřuje seřazení 15-ti vybraných vzorků podle koncentrace železa ve vlasech. Začíná nejmenší zjištěnou hodnotou a končí největší hodnotou koncentrace. Data pro všechny vzorky jsou uvedena v příloze 8.3, kde jsou seřazena podle roku narození.

Tab. 17: *Obsah železa v analyzovaných vlasech*

vzorek	rok narození	c ($\mu\text{g.l}^{-1}$)	c ($\mu\text{g.g}^{-1}$)
1	1958	22	2
2	1981	38	4
3	1986	79	8
4	1985	71	9
5	1937	110	11
6	1944	125	12
7	1967	179	17
8	1954	216	20
9	1956	295	29
10	1963	488	48
11	1959	377	51
12	1951	503	63
13	1953	788	79
14	1969	1101	110
15	1973	1131	112

Graf zastoupení železa ve vlasech v závislosti na věku (**graf 3**) znázorňuje hodnotu koncentrací železa pro jednotlivé vzorky podle data narození jednotlivých mužů darující zkoumané vzorky.



Graf 3: Zastoupení železa ve vlasech v závislosti na věku

Následující tabulka (**tab. 18**) uvádí zjištěné statistické údaje železa, které byly získány statistickým vyhodnocením naměřených dat.

Tab. 18: Statistické údaje naměřených hodnot železa

Medián ($\mu\text{g.g}^{-1}$)	Maximální hodnota ($\mu\text{g.g}^{-1}$)	Minimální hodnota ($\mu\text{g.g}^{-1}$)
12	112	2

Hodnota mediánu koncentrací železa při analýze vlasů byla $12 \mu\text{g.g}^{-1}$. Maximální hodnota koncentrací byla zjištěna jako $112 \mu\text{g.g}^{-1}$ a minimální $2 \mu\text{g.g}^{-1}$. U většiny vzorků se koncentrace pohybovala v rozsahu $10 - 30 \mu\text{g.g}^{-1}$. Vyšší hodnoty koncentrací, které byly zjištěny, byly pravděpodobně způsobeny vyšší konzumací jídel obohacených o železo a doplňků stravy. Tyto vyšší hodnoty koncentrace železa byly zjištěny u lidí narozených v letech 1950 – 1975 a právě u této věkové kategorie by mohly být takto vysoké hodnoty koncentrací způsobeny vyšší konzumací železa.

4.1.4 Zinek Zn

Hodnoty koncentrací roztoků určených pro kalibraci zinku jsou uvedeny v následující tabulce (**tab. 19**).

Tab. 19: *Hodnoty kalibrace zinku*

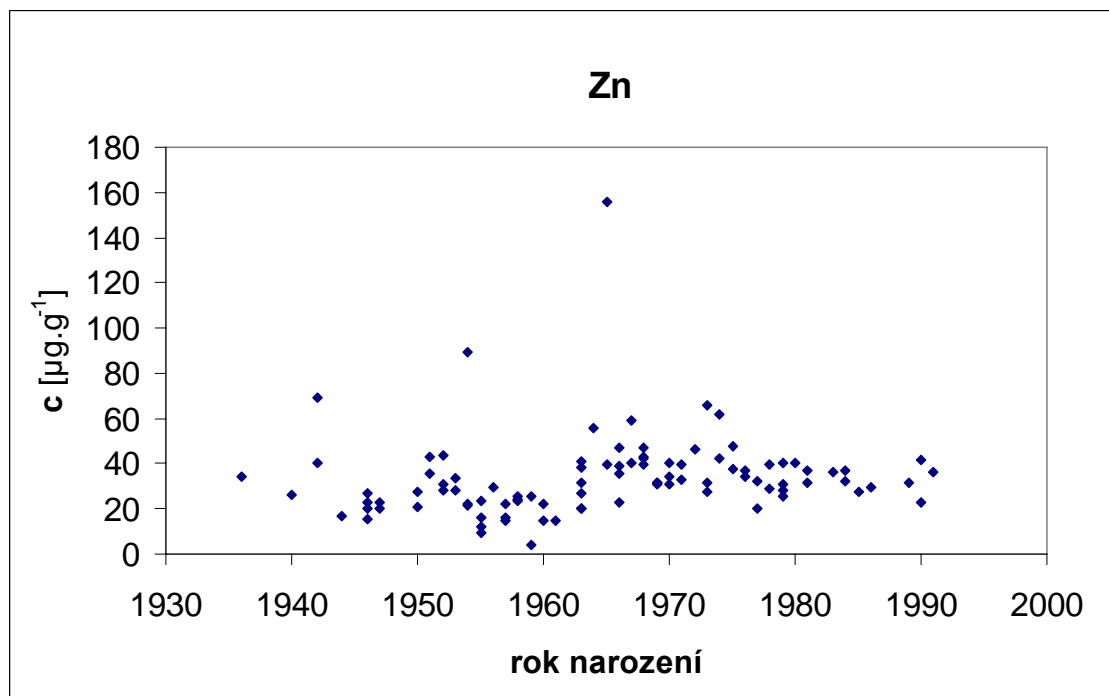
roztok	c ($\mu\text{g.l}^{-1}$)	Intenzita (cps)
blank	0	16470
1.	10	115465
2.	100	1589261

Následující tabulka (**tab. 20**) vyjadřuje seřazení 15-ti vybraných vzorků podle koncentrace zinku ve vlasech. Začíná nejmenší zjištěnou hodnotou a končí největší hodnotou koncentrace. Data pro všechny vzorky jsou uvedena v příloze 8.4, kde jsou seřazena podle roku narození.

Tab. 20: *Obsah zinku v analyzovaných vlasech*

vzorek	rok narození	c ($\mu\text{g.l}^{-1}$)	c ($\mu\text{g.g}^{-1}$)
1	1959	27	4
2	1955	93	9
3	1990	236	23
4	1940	263	26
5	1946	277	27
6	1950	289	28
7	1969	320	31
8	1984	310	32
9	1971	336	33
10	1966	356	36
11	1963	388	38
12	1951	436	43
13	1967	596	59
14	1954	910	90
15	1965	1593	156

Graf zastoupení zinku ve vlasech v závislosti na věku (**graf 4**) znázorňuje hodnotu koncentrací zinku pro jednotlivé vzorky podle data narození jednotlivých mužů darující zkoumané vzorky.



Graf 4: Zastoupení zinku ve vlasech v závislosti na věku

Následující tabulka (**tab. 21**) uvádí zjištěné statistické údaje zinku, které byly získány statistickým vyhodnocením naměřených dat.

Tab. 21: Statistické údaje naměřených hodnot zinku

Medián ($\mu\text{g.g}^{-1}$)	Maximální hodnota ($\mu\text{g.g}^{-1}$)	Minimální hodnota ($\mu\text{g.g}^{-1}$)
31	156	4

Z grafu zastoupení zinku ve vlasech je viditelné, že se koncentrace zinku velké většiny vzorků pohybovala v rozsahu $20 - 50 \mu\text{g.g}^{-1}$. Hodnota mediánu koncentrací byla $31 \mu\text{g.g}^{-1}$. Maximální hodnota koncentrací byla $156 \mu\text{g.g}^{-1}$ a minimální $4 \mu\text{g.g}^{-1}$. Tyto odlehlé hodnoty se týkaly jen malé části výsledků a byly pozorovány u starší věkové kategorie, což byli muži narození v letech 1942 – 1965. Důvodem těchto odchylek byl nejspíše vysoký věk a s ním spojená onemocnění a následná medikace a způsob stravování.

4.1.5 Mangan Mn

Hodnoty koncentrací roztoků určených pro kalibraci manganu jsou uvedeny v následující tabulce (**tab. 22**).

Tab. 22 *Hodnoty kalibrace manganu*

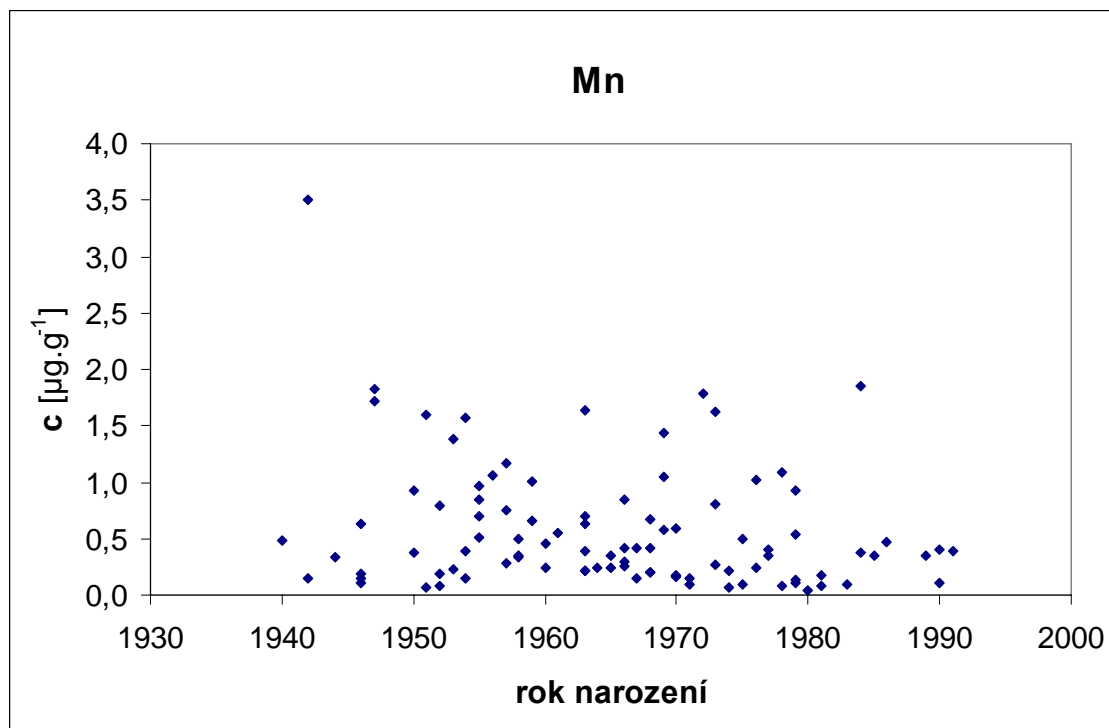
roztok	c ($\mu\text{g.l}^{-1}$)	Intenzita (cps)
blank	0	1947
1.	10	301175
2.	100	1499924

Následující tabulka (**tab. 23**) vyjadřuje seřazení 15-ti vybraných vzorků podle koncentrace manganu ve vlasech. Začíná nejmenší zjištěnou hodnotou a končí největší hodnotou koncentrace. Data pro všechny vzorky jsou uvedena v příloze 8.5, kde jsou seřazena podle roku narození.

Tab. 23: *Obsah manganu v analyzovaných vlasech*

vzorek	rok narození	c ($\mu\text{g.l}^{-1}$)	c ($\mu\text{g.g}^{-1}$)
1	1980	0,5	0,04
2	1974	0,6	0,06
3	1981	0,7	0,08
4	1978	0,8	0,09
5	1966	2,6	0,26
6	1944	3,3	0,33
7	1984	3,9	0,38
8	1991	4,0	0,39
9	1952	8,0	0,79
10	1955	8,5	0,85
11	1959	10,3	1,00
12	1969	10,8	1,04
13	1963	16,7	1,64
14	1947	18,7	1,83
15	1942	28,6	3,50

Graf zastoupení manganu ve vlasech v závislosti na věku (**graf 5**) znázorňuje hodnotu koncentrací manganu pro jednotlivé vzorky podle data narození jednotlivých mužů darující zkoumané vzorky.



Graf 5: Zastoupení manganu ve vlasech v závislosti na věku

Následující tabulka (**tab. 24**) uvádí zjištěné statistické údaje manganu, které byly získány statistickým vyhodnocením naměřených dat.

Tab. 24: Statistické údaje naměřených hodnot manganu

Medián ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	Maximální hodnota ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	Minimální hodnota ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)
0,4	3,5	0,04

U manganu byla zjištěna hodnota mediánu koncentrací $0,4 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Maximální hodnota koncentrací byla $3,5 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ a minimální $0,04 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Vyjma jednoho vzorku se hodnoty koncentrací zbylých vzorků pohybovaly v rozsahu $0,04 - 1,8 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Jeden vzorek se výrazně odchyloval a patřil muži ve věku 68 let. Tento vyšší obsah manganu mohl být způsoben větší konzumací doplňků stravy a stravy obohacené o mangan. Nejvíce se nachází v čaji, jeřabinách, v kakau a pšeničné mouce.

4.1.6 Selen Se

Hodnoty koncentrací roztoků určených pro kalibraci selenu jsou uvedeny v následující tabulce (**tab. 25**).

Tab. 25: *Hodnoty kalibrace selenu*

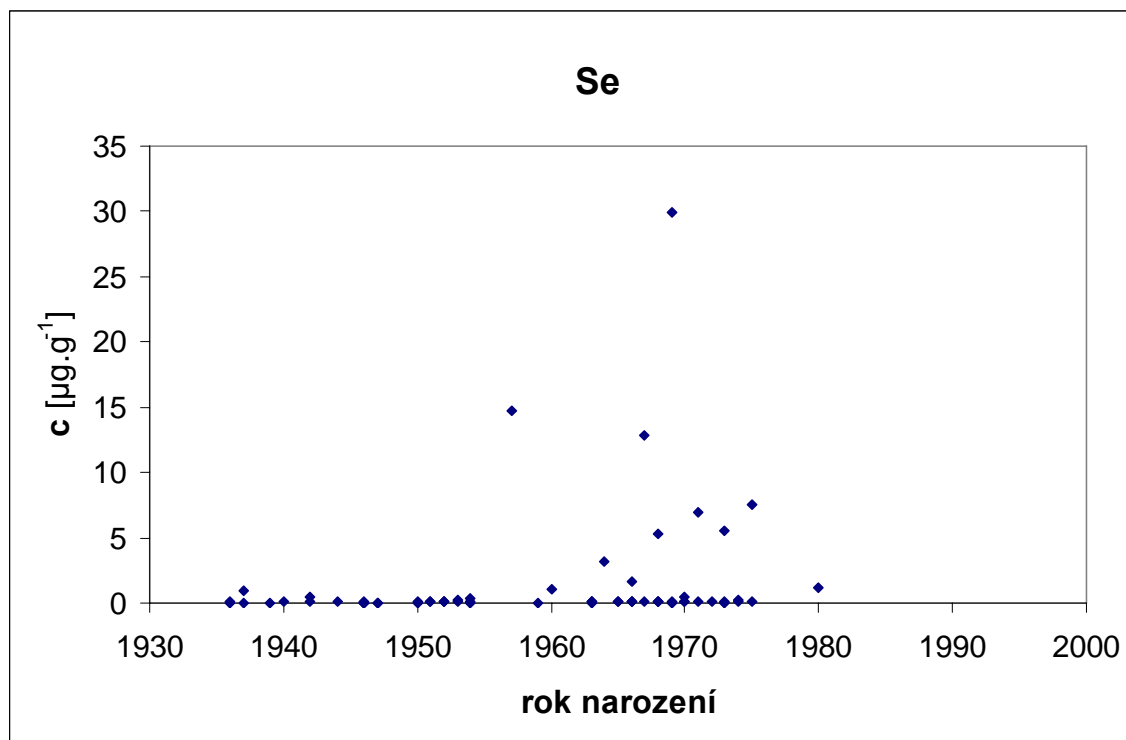
roztok	c ($\mu\text{g.l}^{-1}$)	Intenzita (cps)
blank	0	2347
1.	10	14591
2.	100	122374

Následující tabulka (**tab. 26**) vyjadřuje seřazení 15-ti vybraných vzorků podle koncentrace selenu ve vlasech. Začíná nejmenší zjištěnou hodnotou a končí největší hodnotou koncentrace. Data pro všechny vzorky jsou uvedena v příloze 8.6, kde jsou seřazena podle roku narození.

Tab. 26: *Obsah selenu v analyzovaných vlasech*

vzorek	rok narození	c ($\mu\text{g.l}^{-1}$)	c ($\mu\text{g.g}^{-1}$)
1	1936	0,19	0,02
2	1959	0,33	0,03
3	1973	0,36	0,03
4	1954	3,36	0,33
5	1946	0,96	0,10
6	1971	1,09	0,11
7	1942	1,00	0,12
8	1950	1,49	0,15
9	1937	9,79	0,98
10	1980	12,87	1,20
11	1964	32,49	3,18
12	1975	76,46	7,55
13	1967	129,66	12,79
14	1957	118,10	14,69
15	1969	298,30	29,88

Graf zastoupení selenu ve vlasech v závislosti na věku (**graf 6**) znázorňuje hodnotu koncentrací selenu pro jednotlivé vzorky podle data narození jednotlivých mužů darující zkoumané vzorky.



Graf 6: Zastoupení selenu ve vlasech v závislosti na věku

Následující tabulka (**tab. 27**) uvádí zjištěné statistické údaje selenu, které byly získány statistickým vyhodnocením naměřených dat.

Tab. 27: Statistické údaje naměřených hodnot selenu

Medián (µg.g ⁻¹)	Maximální hodnota (µg.g ⁻¹)	Minimální hodnota (µg.g ⁻¹)
0,1	30	0,2

Velká část naměřených hodnot koncentrací selenu ve vlasech se vyskytovala pod bodem detekce, zbylé hodnoty koncentrace selenu byly velice nízké. Hodnota mediánu koncentrace selenu byla 0,1 µg.g⁻¹. Maximální hodnota koncentrací byla 30 µg.g⁻¹ a minimální 0,02 µg.g⁻¹. Vzhledem k tomu, že je selen antioxidant podporující imunitní stav, zpomalující stárnutí, zlepšující plodnost mužů a působící preventivně proti rakovině, by bylo vhodné konzumovat více česneku, cibule, pažitky, pórku, vepřového a hovězího masa, ve kterém se selen nachází. Při konzumaci doplňků stravy je nutné být více opatrný na množství přijímaných látek, protože selen může být i toxický a mezi esenciální a toxickou dávkou existuje poměrně malý rozdíl.

4.1.7 Arsen As

Hodnoty koncentrací roztoků určených pro kalibraci arsenu jsou uvedeny v následující tabulce (**tab. 28**).

Tab. 28: *Hodnoty kalibrace arsenu*

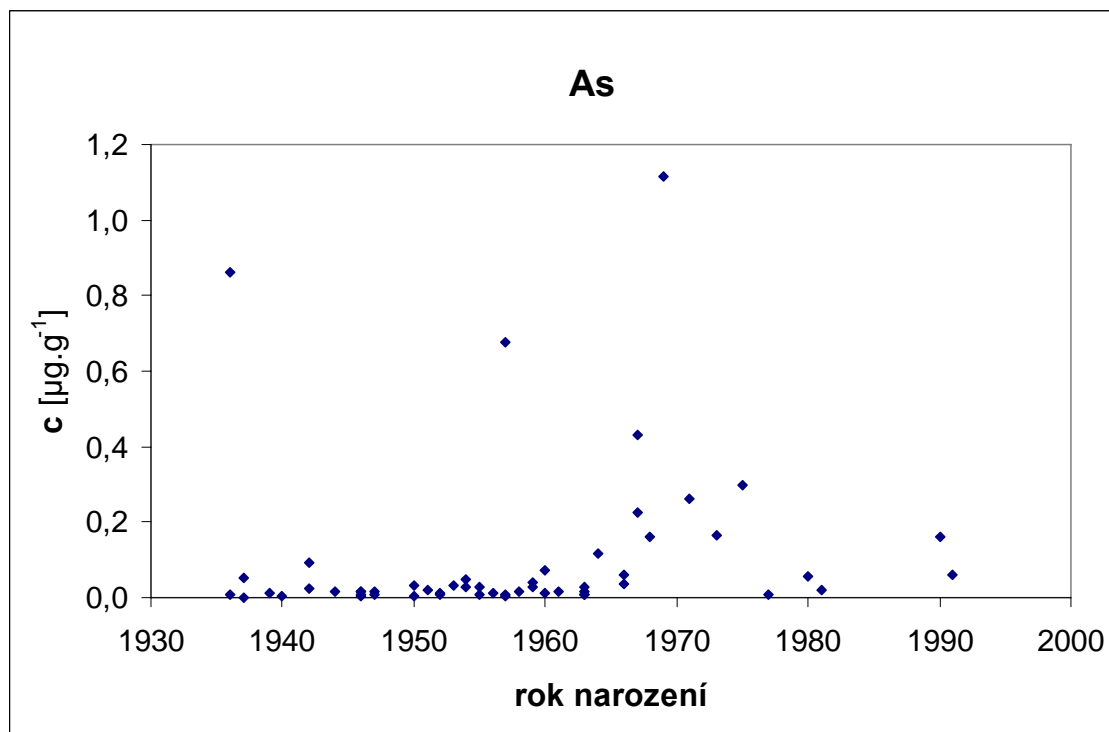
roztok	c ($\mu\text{g.l}^{-1}$)	Intenzita (cps)
blank	0	0
1.	10	27873
2.	100	281557

Následující tabulka (**tab. 29**) vyjadřuje seřazení 15-ti vybraných vzorků podle koncentrace arsenu ve vlasech. Začíná nejmenší zjištěnou hodnotou a končí největší hodnotou koncentrace. Data pro všechny vzorky jsou uvedena v příloze 8.7, kde jsou seřazena podle roku narození.

Tab. 29: *Obsah arsenu v analyzovaných vlasech*

vzorek	rok narození	c ($\mu\text{g.l}^{-1}$)	c ($\mu\text{g.g}^{-1}$)
1	1937	0,02	0,002
2	1950	0,06	0,006
3	1957	0,07	0,007
4	1977	0,08	0,008
5	1952	0,09	0,009
6	1946	0,16	0,015
7	1981	0,19	0,019
8	1991	0,64	0,061
9	1960	0,72	0,070
10	1942	0,76	0,093
11	1964	1,18	0,116
12	1971	2,63	0,261
13	1975	3,04	0,300
14	1967	4,37	0,431
15	1969	11,13	1,115

Graf zastoupení arsenu ve vlasech v závislosti na věku (**graf 7**) znázorňuje hodnotu koncentrací arsenu pro jednotlivé vzorky podle data narození jednotlivých mužů darující zkoumané vzorky.



Graf 7: Zastoupení arsenu ve vlasech v závislosti na věku

Následující tabulka (**tab. 30**) uvádí zjištěné statistické údaje arsenu, které byly získány statistickým vyhodnocením naměřených dat.

Tab. 30: Statistické údaje naměřených hodnot arsenu

Medián ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	Maximální hodnota ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	Minimální hodnota ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)
0,022	1,12	0,002

Pro arsen, jelikož se jedná o toxickou látku, byly naměřeny malé hodnoty koncentrací. Hodnota mediánu byla $0,022 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Hodnota maxima byla $1,12 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ a minima $0,002 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Obsah arsenu ve zkoumaných vlasech byl tedy hodně nízký, pro polovinu výsledků nebyl měřitelný.

4.1.8 Kadmium Cd

Hodnoty koncentrací roztoků určených pro kalibraci kadmia jsou uvedeny v následující tabulce (**tab. 31**).

Tab. 31: *Hodnoty kalibrace Kadmia*

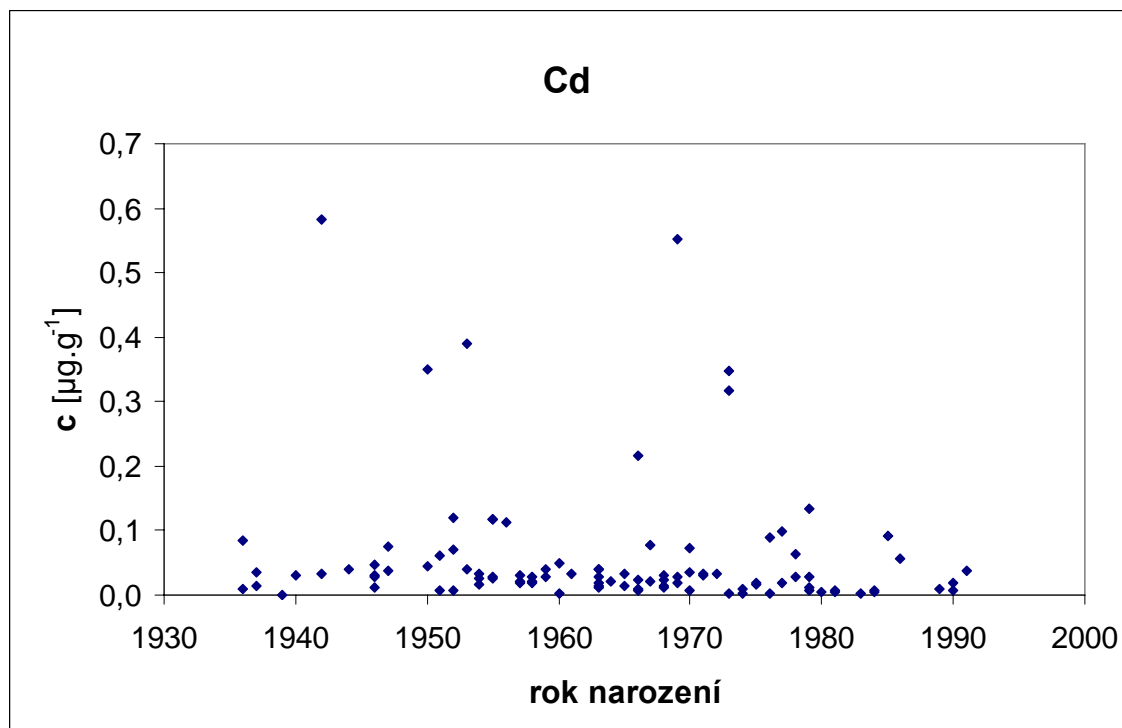
roztok	c ($\mu\text{g.l}^{-1}$)	Intenzita (cps)
blank	0	24
1.	10	96670
2.	100	964734

Následující tabulka (**tab. 32**) vyjadřuje seřazení 15-ti vybraných vzorků podle koncentrace kadmia ve vlasech. Začíná nejmenší zjištěnou hodnotou a končí největší hodnotou koncentrace. Data pro všechny vzorky jsou uvedena v příloze 8.8, kde jsou seřazena podle roku narození.

Tab. 32: *Obsah kadmia v analyzovaných vlasech*

vzorek	rok narození	c ($\mu\text{g.l}^{-1}$)	c ($\mu\text{g.g}^{-1}$)
1	1939	0,004	0,0004
2	1966	0,064	0,0065
3	1952	0,070	0,0068
4	1970	0,077	0,0076
5	1936	0,104	0,0104
6	1958	0,211	0,0213
7	1978	0,270	0,0274
8	1946	0,283	0,0282
9	1955	0,293	0,0290
10	1991	0,391	0,0377
11	1963	0,409	0,0403
12	1960	0,505	0,0501
13	1986	0,563	0,0557
14	1951	0,483	0,0608
15	1942	4,749	0,5800

Graf zastoupení kadmia ve vlasech v závislosti na věku (**graf 8**) znázorňuje hodnotu koncentrací kadmia pro jednotlivé vzorky podle data narození jednotlivých mužů darující zkoumané vzorky.



Graf 8: Zastoupení kadmia ve vlasech v závislosti na věku

Následující tabulka (**tab. 33**) uvádí zjištěné statistické údaje kadmia, které byly získány statistickým vyhodnocením naměřených dat.

Tab. 33: Statistické údaje naměřených hodnot kadmia

Medián ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	Maximální hodnota ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	Minimální hodnota ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)
0,028	0,58	0,0004

Pro kadmium jako toxickou látku byly naměřeny malé hodnoty koncentrací. Hodnota mediánu byla $0,028 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Hodnota maxima byla $0,58 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ a minima $0,0004 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$.

4.1.9 Olovo Pb

Hodnoty koncentrací roztoků určených pro kalibraci olova jsou uvedeny v následující tabulce (**tab. 34**).

Tab. 34: *Hodnoty kalibrace olova*

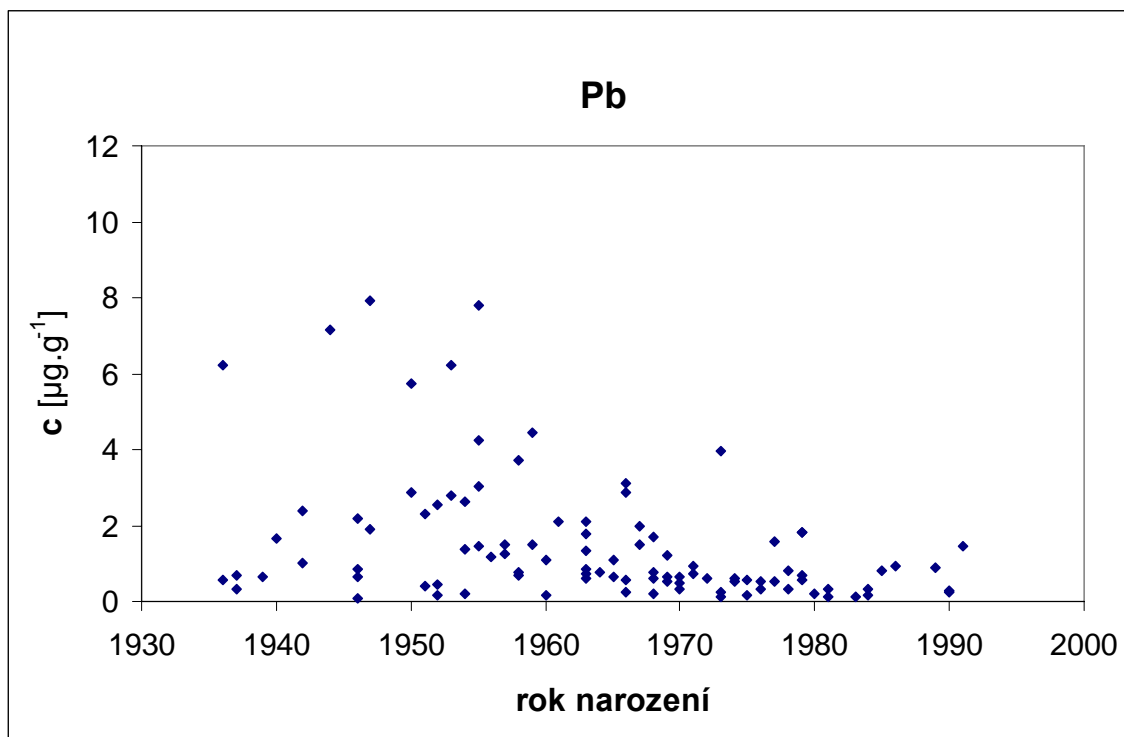
roztok	c ($\mu\text{g.l}^{-1}$)	Intenzita (cps)
blank	0	97
1.	10	322748
2.	100	2132943

Následující tabulka (**tab. 35**) vyjadřuje seřazení 15-ti vybraných vzorků podle koncentrace olova ve vlasech. Začíná nejmenší zjištěnou hodnotou a končí největší hodnotou koncentrace. Data pro všechny vzorky jsou uvedena v příloze 8.9, kde jsou seřazena podle roku narození.

Tab. 35: *Obsah olova v analyzovaných vlasech*

vzorek	rok narození	c ($\mu\text{g.l}^{-1}$)	c ($\mu\text{g.g}^{-1}$)
1	1946	0,7	0,09
2	1952	1,6	0,15
3	1980	2,4	0,22
4	1990	2,4	0,23
5	1984	3,2	0,30
6	1974	5,3	0,53
7	1963	6,3	0,62
8	1939	6,5	0,64
9	1968	7,6	0,75
10	1978	8,1	0,82
11	1971	9,2	0,91
12	1957	10,1	1,26
13	1959	32,7	4,42
14	1955	78,7	7,78
15	1947	81,3	7,93

Graf zastoupení olova ve vlasech v závislosti na věku (**graf 9**) znázorňuje hodnotu koncentrací olova pro jednotlivé vzorky podle data narození jednotlivých mužů darující zkoumané vzorky.



Graf 9: Zastoupení olova ve vlasech v závislosti na věku

Následující tabulka (**tab. 36**) uvádí zjištěné statistické údaje olova, které byly získány statistickým vyhodnocením naměřených dat.

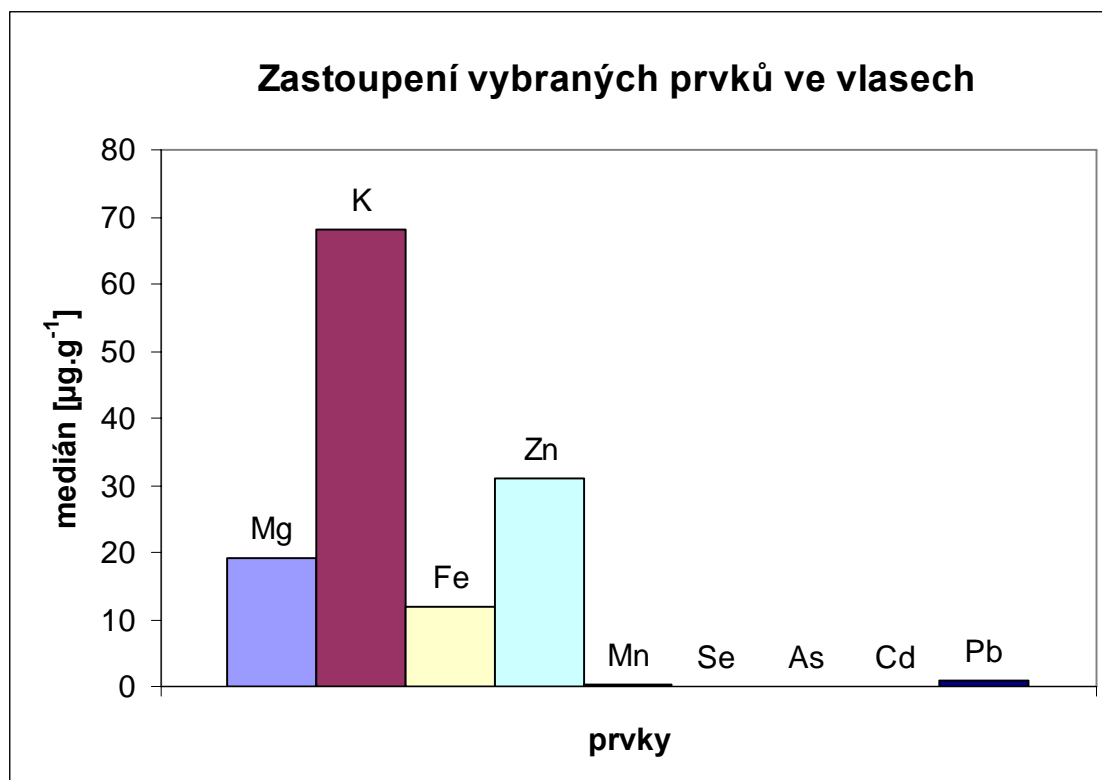
Tab. 36: Statistické údaje naměřených hodnot olova

Medián ($\mu\text{g.g}^{-1}$)	Maximální hodnota ($\mu\text{g.g}^{-1}$)	Minimální hodnota ($\mu\text{g.g}^{-1}$)
0,82	7,93	0,09

Pro olovo byly naměřeny vzhledem k předchozím toxickým prvkům vyšší hodnoty koncentrace. Hodnota mediánu byla $0,82 \mu\text{g.g}^{-1}$. Hodnota maxima byla $7,93 \mu\text{g.g}^{-1}$ a hodnota minima $0,09 \mu\text{g.g}^{-1}$. Tyto hodnoty mohly být způsobeny především kumulací z ovzduší a kontaminovanou potravou. Vysoké hodnoty koncentrace se vyskytovaly především u starších lidí narozených v letech 1936 až 1955.

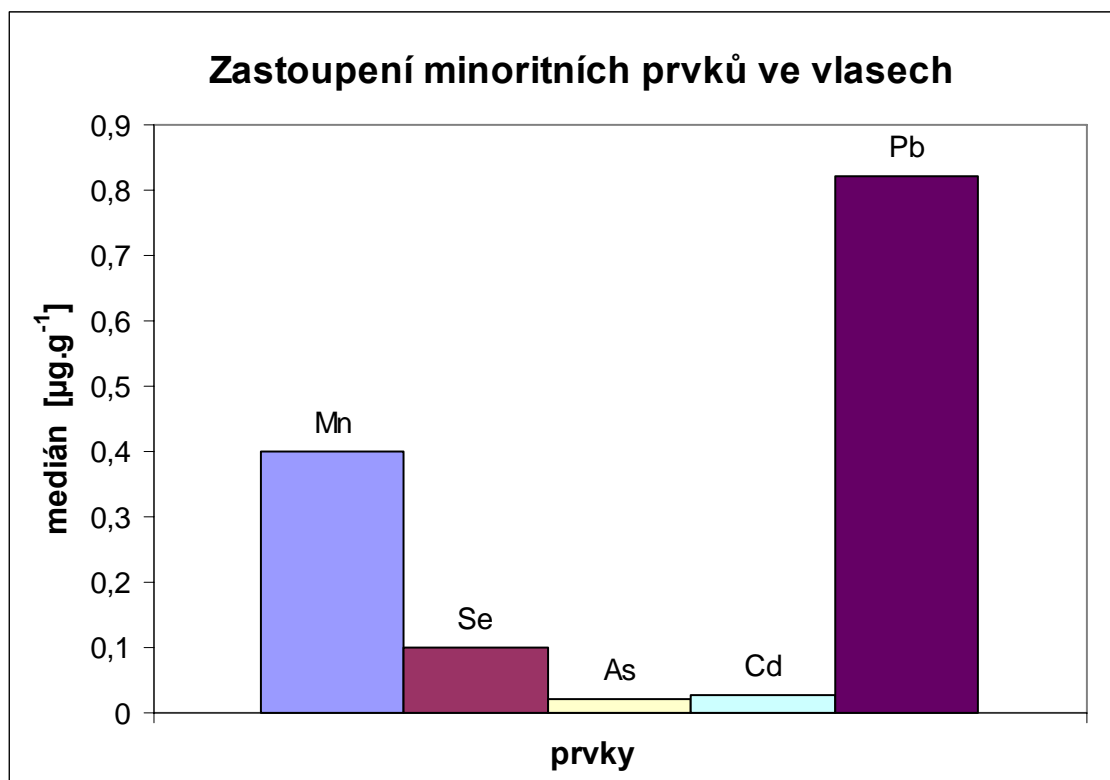
4.2 Diskuze

Po důkladném odběru, pročištění, rozkladu, následné analýze metodou ICP-MS a po vyhodnocení naměřených dat bylo zjištěno, že se hodnoty koncentrací jednotlivých prvků pohybují až na menší odchylky v určitém rozsahu hodnot. Graf (**graf 10**), ve kterém je znázorněno zastoupení všech zkoumaných prvků ve vlasech, ukazuje, že vzorky obsahovaly nejvíce draslík z makroprvků a zinek ze stopových prvků. Je zajímavé, že zinek jako stopový prvek byl ve vlasech obsažen více než hořčík jako makroprvek.



Graf 10: Celkové zastoupení vybraných prvků ve vlasech.

Na grafu zastoupení minoritních prvků ve vlasech (**graf 11**) je zajímavé, že olovo jako toxický prvek pro naše tělo byl ve vzorcích vlasů zastoupen ve větším množství než mangan a selen, které jsou pro náš organismus určitě důležitější. Hodnoty koncentrací arsenu se pohybovaly ve velmi nízkých hodnotách, polovina se nacházela pod mezí detekce. Obsah kadmia byl také velice nízký a obsah olova byl vzhledem k předchozím toxickým prvkům o něco vyšší. Vysoké hodnoty se objevovaly především u mužů starších 55-ti let.



Graf 11: Zastoupení minoritních prvků ve vlasech.

5. ZÁVĚR

Tato práce poskytuje informace o struktuře a složení vlasu, o vybraných prvcích a jejich vlivu na lidský organismus a popisuje metodu a ICP-MS jako možnou metodu pro analýzu vlasů. Dále tato práce obsahuje závěry z experimentálního proměřování vlasů.

Vlas se skládá ze tří vrstev. Vnější šupinovitá vrstva obklopující vlas se nazývá kutikula a má funkci ochranné bariéry. Pod vnější vrstvou se nachází vlasová kůra (*cortex*), která tvoří převážnou část vlasu a určuje tloušťku, pružnost a barvu vlasu. Třetí vrstvou je vlasová dřevina (*medulla*), což je kanálek, který se nachází v centrální části vlasu. Vlasy rostou neustále po celý život a rozlišují se čtyři druhy vlasů. To jsou prenatální *lanugo*, postnatální *vellus*, intermediární a terminální vlasy. Existují také vlasové odlišnosti rasového charakteru. Mezi rasami jsou zjištěny široké genetické rozdíly v charakteru i množství vlasového růstu. Podle toho se vlasy dělí na evropské, japonské a africké. Černoši mají kudrnaté vlasy, u žluté rasy jsou vlasy silné a rovné a běloši mají vlasy s různým stupněm zvlnění. Africký (černošský) vlas je na průřezu oválný, japonský vlas je okrouhlý a evropský vlas je mírně elipsovitý. Také jsou zaznamenávány změny vlasu spojené s věkem, nebo v souvislosti s ročním obdobím.

Vlas se tedy neustále obnovuje a existuje tzv. cyklus růstu vlasu, který se uskutečňuje ve třech fázích. Nejprve probíhá růstová fáze (*anagen*), po ní následuje přechodná fáze (*katagen*) a poslední fází je klidová fáze (*telogen*). Dochází tak k přirozené obměně vlasů. Velice nepříjemné jsou poruchy vlasového růstu. Uvádějí se dvě příčiny vypadávání vlasu a to příčiny vnější (exogenní) a vnitřní (endogenní). Mezi vnější příčiny patří účinky chemické, mechanické nebo fyzikální, jako jsou ozařování, barvení, nebo například trvale nošené vyčesané vlasy. Vnitřními příčinami mohou být hormony, dědičné vloh, období po těhotenství, různá onemocnění, nebo špatná výživa.

Vlas tvoří z převážné části keratin, dále obsahuje vodu, stopové prvky, lipidy, další bílkoviny a melanin. Z chemického složení vlasu tvoří vlas makroprvky, stopové prvky a toxické látky. Mezi makroprvky vyskytující se ve vlasech patří vápník, hořčík, fosfor, síra, draslík, sodík a chlór. Ze stopových prvků se ve vlasech nachází železo, zinek, měď, molybden, nikl, kobalt, chrom a mangan. Toxickými látkami jsou thalium, olovo, rtuť, hliník, arsen a kadmium. Úbytek prvků v těle se rychle projeví ve vlasech. Vlasy ztrácejí lesk, pevnost, pružnost a dochází k většímu vypadávání vlasu.

Mezi metody používané na analýzu vlasů patří ICP-MS a AAS. Obě metody jsou velice rychlé a přesné při proměření obsahu prvků ve vlasech. Principem metody ICP-MS je, že roztok analytického vzorku je zmlžen a vzniklý aerosol je proudem argonu veden do hořáku, ve kterém je za pomoci střídavého vysokofrekvenčního magnetického pole udržováno argonové plazma o teplotě 6 000 – 10 000 K. Ionty se systémem elektromagnetických čoček dostávají do kvadrupólového detektoru, kde jsou analyzovány tak, aby na povrch zesilovače dopadly v daném časovém okamžiku pouze ionty se zvolenou hmotností. Tato metoda je vhodná pro měření velmi malých stopových množství. Je multielementární, takže je vhodná při měření, kdy je za úkol proměřit ve vlasech více prvků, než jeden. Její nevýhodou je její velká citlivost a možné interference. Další nevýhodou je, že při používání spotřebovává velké množství argonu, takže její použití není zrovna levnou záležitostí. Metoda AAS je na rozdíl od ICP-MS starší metodou. U metody AAS je roztok analytického vzorku také zmlžen a vzniklý aerosol veden do plamene, tam se roztok odpaří a rozruší se chemické vazby v molekulách přítomných sloučenin. Plamenem prochází paprsek světla ze speciální výbojky,

jehož fotony jsou při setkání s atomy analyzovaného prvku absorbovány a atom prvku přechází do příslušného vzbuzeného stavu. Touto metodou se analyzuje najednou jen jeden prvek, ale měření probíhá velice rychle.

Pro analýzu je dost důležité vybrat vhodnou metodu, a to vzhledem k analyzovaným prvkům a době analýzy. Pokud by bylo zapotřebí zjistit například zastoupení síry ve vlasech, je vhodné použít metodu ICP-OES. Bylo by velice zajímavé v rámci takovéto práce analyzovat vlasy jak metodou ICP-MS, tak metodou AAS a následně tyto metody porovnat. Vzhledem k časové náročnosti už nebylo možné takovéto porovnání provést.

V experimentální části bylo proměřováno 100 mužských vzorků vlasů ve věkovém rozsahu 19 – 74 let a byl zjišťován obsah hořčíku, draslíku, železa, zinku, manganu, selenu, arsenu, kadmia a olova. Takové zastoupení prvku bylo sestaveno proto, aby nedocházelo k vzájemnému ovlivňování a pro důležitost jmenovaných makroprvků a stopových prvků vzhledem k organismu. Pro zmíněnou analýzu byla vybrána metoda ICP-MS, která je vhodná pro měření stopového množství prvků ve vlasech. Vzorky byly odebrány z týlní části hlavy a uchovány v papírových obálkách na suchém a čistém místě. Před analýzou musely být vzorky pročištěny acetonem. Po zkušebním měření byla vybrána vhodná hmotnost vzorků, a to 250 mg.

Vzhledem k tomu, že se jednalo o vlasy, což jsou pevné látky, bylo potřeba poskytnuté vzorky nejdříve rozložit. Na analytických vahách bylo zváženo potřebné množství vzorku a to bylo po smíchání kyseliny dusičné a peroxidu vodíku rozloženo za pomoci mikrovlnného záření. Po rozložení byl vzorek kvantitativně převeden do odměrné baňky a doplněn mírně kyselou vodou (8 ml koncentrované HNO_3 v 5 l H_2O) Mírně kyselá voda je používána proto, aby zkoumané prvky neulpívaly na stěnách baněk, či zkumavek. Po celou dobu práce byla k práci používána ultračistá destilovaná voda, kyselina dusičná a peroxid vodíku určený ke stopové analýze. Takto naředěné vzorky byly uchovávány v chladničce do doby, než byly dále analyzovány. Pro měření byly připraveny kalibrační roztoky a nastaven přístroj i s programem v počítači, který byl propojen s přístrojem ICP-MS. Všechna měření byla proměřována 3x. Z naměřených hodnot byla při vyhodnocování stanovena průměrná hodnota, směrodatná odchylka a pomocí ní mez detekce. Pro naše závěry byly zpracovány ještě hodnoty mediánu, maxima a minima.

Hodnoty koncentrací jednotlivých prvků se u většiny vzorků pohybovaly v úzkém rozsahu. Jen malá část hodnot se odchylovala a vytvářela tak větší rozsah hodnot koncentrací. Tyto odchylky, které tvořily maxima a minima, patřily především starším mužům. Důvodem těchto vysokých, nebo naopak nízkých hodnot koncentrací mohlo být stáří, různá onemocnění, chirurgické zákroky a z těchto důvodu také nejspíše vyšší konzumace doplňků stravy.

Na obsah minerálů a stopových prvků v našem těle má velký vliv naše životospráva, to jak se stravujeme, nebo jestli kouříme a konzumujeme větší množství alkoholu. Samozřejmě se nesmí opomenout nemoci a s nimi spojené léčby, kterými mohou být různé chirurgické zákroky, ozařování, či požívání léků. Všechno to se velkou měrou zobrazuje na množství prvků v našem těle. Proto je velice důležité mít při analýze dostatek informací o lidech poskytující vzorky ke zkoumání.

Co se týká toxických prvků, tak jejich koncentrace se pohybovala v minimálních množstvích. U arsenu se nacházela polovina výsledků pod bodem detekce. U olova byly zjištěny vyšší hodnoty koncentrace a to především u mužů s věkem 55 – 74 let. Z těchto výsledků lze předpokládat, že tyto vyšší obsahy olova ve vlasech mohly být způsobeny

kontaminovanou potravou a ovzduším, které byli dříve způsobeny špatnou automobilovou dopravou a vodovodním potrubím.

Obsažené množství vybraných prvků ve vlasech vzhledem k jejich barvě nelze potvrdit s jasnou pravděpodobností, neboť vzhledem k šedivým vlasům se prvky objevovaly ve vyšších i nižších koncentracích. K porovnání blond a tmavých vlasů, nebyl dostatek blond vlasů, aby toto porovnání mohlo být provedeno, ale lze se domnívat, že barva vlasů neměla na obsah prvků vliv.

Závislost obsahu prvků ve vlasech vzhledem k věku, nebylo možné s úplnou jistotou dokázat, neboť kvůli nedostatku vzorků, nelze potvrdit, že věkem buď klesá, nebo naopak stoupá obsah prvků ve vlasech. Lze se domnívat, že stářím dochází k úbytku stopových prvků a minerálů v těle. Tento úbytek může být způsoben i různými nemocemi a vhodnou stravou a medikamenty může být obsah prvků zvyšován. Nedostatkem informací toto nebylo možné potvrdit.

Vzhledem k tomu, že byly nejdříve odebrány vlasy a až poté určena metoda a cíl analýzy, nastala situace, že během práce chyběly o vzorcích důležité informace. Kvůli lepším závěrům by bylo dobré získat i menší počet vzorků, ale za to s více informacemi o lidech poskytujících vzorky. Tyto informace by se týkaly zdravotního stavu, způsobu stravování a celkové životosprávy. Tato studie se zabývá analýzou pouze mužských vlasů, nabízí se tedy získat i ženské vlasy s potřebnými informacemi a následně je porovnat vzhledem k obsahu vybraných stopových prvků a minerálů. Také by bylo velice zajímavé, kdyby odebrané vzorky pocházely z různých oblastí na území České Republiky a v rámci toho tyto oblasti porovnat podle obsahu toxických prvků ve vlasech.

V současné době existují také společnosti, které nabízejí svým zákazníkům rozbor vlasů k posouzení jejich zdravotního stavu. Metoda ICP-MS je také využívána v kriminalistice k toxikologickému posouzení ze vzorku vlasu a také existují studie, které posuzují znečištění oblastí pomocí analýzy vlasů.

6. SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] Kintz P., Ginet M., Marques N., Cirimele V.: Arsenic speciation of two specimens of Napoleon's hair. *Forensic Science International*, 2007, vol. 170, pp. 204-206. ISSN 0379-0738.
- [2] Barel A. O., Paye M., Maibach H. I.: *Handbook of Cosmetic Science and Technology*. New York: Marcel Dekker, INC., 2001. 886 s. ISBN 0-8247-0292-1.
- [3] Janssen, M.: *Přírodní péče o vlasy*. Praha: Pragma, 1999. 188 s. ISBN 80-7205-123-7.
- [4] Řápková, M.: *Půvab, krása, zdraví pro moderní ženu*. Praha: Svojtka & Co., 2002. 255 s. ISBN 80-7237-502-4.
- [5] Hoch, D.: *Všechno o vlasech*. Praha: Synesthesie s.r.o., 1994. 139 s.
- [6] Barchánek, J.: *Zdravé, pěkné vlasy – polovina krásy*. Praha: Merkur, 1985. 32 s.
- [7] Neste D., Tobin D. J.: Hair cycle and hair pigmentation: dynamic interactions and changes associated with aging. *Micron*, 2004, vol. 35, pp. 193-200. ISSN 0968-4328.
- [8] Dostupné z: <http://www.studioamadeus.cz/o-vlasech> [cit. 5.5.2009].
- [9] Arenberger P., kolektiv: *Klinická trichologie – nemoci vlasů a nové trendy v jejich léčbě*. Praha: MAXDORF, 2002. 192 s. ISBN 80-85912-87-2.
- [10] Pragst F., Balikova M. A.: State of the art in hair analysis for detection of drug and alcohol abuse. *Clinica Chimica Acta* [online]. 2006, vol. 370 [cit. 01. 04. 2010]. Dostupné z: http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6T57-4JDN6H3-7&_user=640830&_coverDate=08%2F31%2F2006&_alid=1295114471&_rdoc=1&_fmt=high&_orig=search&_cdi=4995&_sort=r&_docanchor=&view=c&_ct=1682&_acct=C000032308&_version=1&_urlVersion=0&_userid=640830&md5=a6d4b4a8c538674c2dead25c9d036666.
- [11] Yang Ch., Cotsarelis G.: Review of hair follicle dermal cells. *Journal of Dermatological Science* [online]. 2010, vol. 57 [cit. 01. 04. 2010]. Dostupné z: http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6T87-4Y0542Y-2&_user=640830&_coverDate=01%2F31%2F2010&_alid=1295118383&_rdoc=1&_fmt=high&_orig=search&_cdi=5079&_sort=r&_docanchor=&view=c&_ct=3412&_acct=C000032308&_version=1&_urlVersion=0&_userid=640830&md5=2cb00dda3435ede51d5514cf2917897c.
- [12] Dostupné z: <http://www.hairloss.ir/files/filebox/cause.jpg> [cit. 17. 03. 2010].
- [13] Dostupné z: <http://www.ordinace.cz/clanek/struktura-a-funkce-vlasu-vypadavani-vlasu/> [cit. 5.5.2009].
- [14] Dostupné z: <http://www.vlasy.info/o-vlasech/> [cit. 10.5.2009].
- [15] Dostupné z: <http://www.nlm.nih.gov/medlineplus/ency/images/ency/fullsize/17221.jpg> [cit. 17. 03. 2010].
- [16] Dostupné z: <http://www.vlasy.cz/obrazek.php?databaze=galerie&uid=819&x=400&y=334> [cit. 17. 03. 2010].

- [17] Kamath, Y., Ruetsch, S.: Photodegradation of Hair of Different Ethnicity after 1 Year of Exposure to Natural Weathering in Arizona. *IFSCC MAGAZINE*, 2006, vol. 9, no. 4, pp. 325-333. ISSN 1520-4561.
- [18] Bryant, A.: *Stop padání vlasů*. Praha: TALPRESS, 1995. 117 s. ISBN 80-85609-66-5.
- [19] Vávrová, J.: *Vitamíny a stopové prvky*. Praha: Česká společnost klinické biochemie ČLS JEP SEKK spol. s.r.o, 2007. 155 s. ISBN 978-80-254-1171-1.
- [20] Janča J.: *Co nám chybí kovy, jiné prvky a vitamíny v lidském těle*. Praha: Eminent, 1992. 124 s. ISBN 80-900176-2-2.
- [21] Zadák Z.: *Magnezium a další minerály, vitamíny a stopové prvky ve službách zdraví*. Zlín: Presstempus, 2006. 71 s. ISBN 80-903350-7-1.
- [22] Hankeová, E., Wegner, E.: *Zinek Nová vitalita pro vaše tělo*. Praha: Ivo Železný, 2001. 114 s. ISBN 80-240-1847-0.
- [23] Memon A., Kazi T., Afridi H., Jamali M., Arain M., Jalbani N., Syed N.: Evaluation of zinc in whole blood and scalp hair of female cancer patients. *Clinica Chimica Acta* [online]. 2007, vol. 379 [cit. 04. 03. 2010]. Dostupné z: http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6T57-4MMPNMY-2&_user=640830&_coverDate=04%2F30%2F2007&_alid=1295126331&_rdoc=1&_fmt=high&_orig=search&_cdi=4995&_sort=r&_docanchor=&view=c&_ct=256&_acct=C000032308&_version=1&_urlVersion=0&_userid=640830&md5=4867ac75b6a2b86281f195d868901858.
- [24] Fořt P.: *Zdraví a potravní doplňky*. Praha: Euromedia Group, k. s. – Ikar, 2005. 400 s. ISBN 80-249-0612-0.
- [25] Hindmarsh J. T.: Caveats in hair analysis in chronic arsenic poisoning. *Clinical Biochemistry*, 2002, vol. 35, pp. 1-11. ISSN 0009-8981.
- [26] Halfar E.: *Kadmium*. Praha: Inorga, 1988. 17 s.
- [27] Cíkr M., Provazník K., Šmerhovský Z.: *Olovo a zdraví*. Praha: Fortuna, 1997. 20 s. ISBN 80-7071-065-9.
- [28] Jordán V., Hemzalová M.: *Antioxidanty zázračné zbraně, vitamíny, minerály, stopové prvky, aminokyseliny a jejich využití pro zdravý život*. Brno: JOTA, 2001. 160 s. ISBN 80-7217-156-9.
- [29] Baier J., Bukvaj M., Bárta V., Baierová V.: *Význam hořčíku pro výživu rostlin, zvířat a člověka*. Praha: Ústav zemědělských a potravinářských informací, 1996. 54 s. ISSN 0862-3562.
- [30] Černožorský T., Jandera P.: *Atomová spektroskopie*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 1997. 218 s. ISBN 80-7194-114-X.
- [31] Němcová I., Čermáková L., Rychnovský P.: *Spektrometrické analytické metody I*. Praha: Karolinum, 2004. 166 s. ISBN 80-246-0776-X.
- [32] Dostupné z: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/4/47/ICP-MS.jpg/300px-ICP-MS.jpg> [cit. 10. 11. 2008].
- [33] Mihaljevič M., Strnad L., Šebek O.: Využití hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem v geochemii. *Chemické listy* [online]. 2004, březen [cit. 21. 03. 2010]. Dostupné z: http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2004_03_02.pdf.
- [34] *Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry, A Primer*, USA: Agilent Technologies, 2005. 80 s. ISBN 5989-3526 EN

- [35] Dostupné z:
http://tomcat.prf.jcu.cz/sima/analyticka_chemie/spektraa_soubory/image016.jpg
 [cit. 21. 11. 2008].
- [36] Dostupné z:
http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/3/3e/Peristaltick%C3%A9_%C4%8Derpadlo.jpg/300px-Peristaltick%C3%A9_%C4%8Derpadlo.jpg
 [cit. 10. 11. 2008].
- [37] Dostupné z:
http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/7/72/Turbomolekul%C3%A1rn%C3%AD_pumpa.jpg/250px-Turbomolekul%C3%A1rn%C3%AD_pumpa.jpg
 [cit. 10. 11. 2008].
- [38] Otruba V.: *Hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem*. Brno: Spektroskopická společnost Jana Marka Marci, 2008. 194 s. ISBN 80-903732-4-0.
- [39] Milata, V., Segla, P.: *Spektrálne metódy v chémii*. Bratislava: Slovenská technická univerzita v Bratislavě, 2004. 327 s. ISBN 80-227-2049-6.
- [40] Dostupné z:
<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/4d/Quadrupole.gif>
 [cit. 10. 11. 2008].
- [41] Holzbecher Z., Churáček J.: *Analytická chemie*. Praha: SNTL, 1987. 663 s. ISBN 04-612-87.
- [42] Pospíšil M.: *Instrumentální metody výzkumu a analýzy I*. Praha: ČVUT, 2004. 141 s. ISBN 80-01-02922-0.
- [43] Jančářová I., Jančář L.: *Analytická chemie*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2003. 195 s. ISBN 80-7157-647-6.
- [44] Vondrák D., Vulterin J.: *Analytická chemie*. Praha: SNTL, 1985. 262 s. ISBN 04-619-85.
- [45] Praus P., Dombek V., Klika Z.: *Základy analytické chemie*. Ostrava: VŠB Technická univerzita Ostrava, 2001. 105 s. ISBN 80-7078-896-8.
- [46] Dostupné z:
http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/85/Atomic_absorption_spectroscopy.jpg [cit. 15. 03. 2010].
- [47] Opekar F., Jelínek I., Rychnovský P., Plzák Z.: *Základní analytická chemie*. Praha: Karolinum, 2002. 201 s. ISBN 80-246-0553-8.
- [48] Klouda P.: *Moderní analytické metody*. Ostrava: Pavel Klouda, 2003. 132 s. ISBN 80-86369-07-2.
- [49] Komárek J.: *Atomová absorpční spektrometrie*. Brno: Masarykova univerzita v Brně, 2000. 85 s. ISBN 80-210-2500-X.
- [50] Otruba V.: *Spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem, sborník příspěvků semináře*, Brno: Spektroskopická společnost Jana Marka Marci, 2001. 152 s. ISBN 80-210-2713-4.
- [51] Mader P., Čurdová E.: Metody rozkladu biologických materiálů pro stanovení stopových prvků. *Chemické listy* [online]. 1997, leden [cit. 12. 10. 2009]. Dostupné z: http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/1997_04_227-236.pdf
- [52] Krakovská E., Kuss M.: *Rozklady v analytickej chémii: súčasný stav a trendy*. Košice: VIENALA, 2001. 226 s. ISBN 80-88922-48-8.

- [53] Sommer L., kol.: *Základy analytické chemie II.*. Brno: VUTIUM, 2000. 347 s. ISBN 80-214-1742-0.
- [54] Schramm K.-W.: Hair-biomonitoring of organic pollutants. *Chemosphere*, 2008, vol. 72, pp. 1103-1111. ISSN 0045-6535.
- [55] Dostupné z: <http://www.chromspec.cz/produkty/images/mega1200.jpg>
[cit. 26. 02. 2010].

7. SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

AAS	- Atomová absorpční spektrometrie
Amu	- Atomová hmotnostní jednotka
ATP	- Adenosintrifosfát
CNS	- Centrální nervová soustava
d	- Den
DNA	- Deoxyribonukleová kyselina
EDTA	- Etylendiamintetraoctová kyselina
ETV-ICP-MS	- Elektrotermální vaporizace (odpařování) v kombinaci s hmotnostní spektrometrií s indukčně vázaným plazmatem
GP _x	- Glutathion-peroxidáza
ICP-MS	- Hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem
ICP-OES	- Emisní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem
IQ	- Inteligenční kvocient
m	- Měsíc
OH [•]	- Hydroxylový radikál
O ₂ ^{•-}	- Superoxidový radikál
O ₂ H [•]	- Perhydroxylový radikál
ppb	- biliontina (parts per billion)
ppm	- miliontina (parts per milion)
RNA	- Ribonukleová kyselina
r	- Rok
SOD [•]	- Superoxiddismutáza
VR [•]	- Volný radikál
TMAH	- Hydroxid tetramethylamonium
t	- Týden

8. PŘÍLOHY

Příloha 8.1	<i>Zastoupení hořčíku ve vlasech</i>
Příloha 8.2	<i>Zastoupení draslíku ve vlasech</i>
Příloha 8.3	<i>Zastoupení železa ve vlasech</i>
Příloha 8.4	<i>Zastoupení zinku ve vlasech</i>
Příloha 8.5	<i>Zastoupení manganu ve vlasech</i>
Příloha 8.6	<i>Zastoupení selenu ve vlasech</i>
Příloha 8.7	<i>Zastoupení arzenu ve vlasech</i>
Příloha 8.8	<i>Zastoupení kadmia ve vlasech</i>
Příloha 8.9	<i>Zastoupení olova ve vlasech</i>

Příloha 8.1: Zastoupení hořčíku ve vlasech

vzorek	rok narození	m (g)	mez detekce	c ($\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$)	c ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)
1.	1936	0,251	74,94	* < MD	< MD
2.	1936	0,250		< MD	< MD
3.	1937	0,250		< MD	< MD
4.	1937	0,251		< MD	< MD
5.	1939	0,252		< MD	< MD
6.	1940	0,252	0,56	136	14
7.	1942	0,252	0,03	189	19
8.	1942	0,204	66,72	742	91
9.	1944	0,248	0,56	121	12
10.	1946	0,187		64	9
11.	1946	0,250		72	7
12.	1946	0,251		525	52
13.	1946	0,248	0,16	154	16
14.	1947	0,249		173	17
15.	1947	0,256		167	16
16.	1950	0,252		118	12
17.	1950	0,252		115	12
18.	1951	0,199	0,03	174	22
19.	1951	0,254		1064	105
20.	1952	0,250		243	24
21.	1952	0,251		137	14
22.	1952	0,257	0,59	456	44
23.	1953	0,249		114	12
24.	1953	0,253		866	85
25.	1954	0,254		210	21
26.	1954	0,254		115	11
27.	1954	0,251	0,05	256	25
28.	1955	0,253		76	8
29.	1955	0,253		95	9
30.	1955	0,253		191	19
31.	1955	0,252		1233	122

* < MD = hodnota koncentrace je nižší než mez detekce.

Příloha 8.1: Zastoupení hořčíku ve vlasech - pokračování

vzorek	rok narození	m (g)	mez detekce	c ($\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$)	c ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)
32.	1956	0,254	0,03	616	61
33.	1957	0,254		63	6
34.	1957	0,254		112	11
35.	1957	0,201	66,72	216	27
36.	1958	0,248	0,03	140	14
37.	1958	0,249		1314	132
38.	1958	0,252	0,01	90	9
39.	1959	0,185		64	9
40.	1959	0,256		116	11
41.	1960	0,252		63	6
42.	1960	0,252		99	10
43.	1961	0,255	0,26	233	23
44.	1963	0,244		174	18
45.	1963	0,255		160	16
46.	1963	0,254		1338	132
47.	1963	0,249		216	22
48.	1963	0,253	0,06	204	20
49.	1963	0,255		167	16
50.	1964	0,255		2405	236
51.	1965	0,255		1092	107
52.	1965	0,255		232	23
53.	1966	0,095	0,11	58	15
54.	1966	0,250		563	56
55.	1966	0,247		360	36
56.	1966	0,256		230	23
57.	1967	0,252		2610	259
58.	1967	0,253	0,06	358	35
59.	1968	0,253		136	13
60.	1968	0,255		563	55
61.	1968	0,253		221	22
62.	1968	0,251		311	31
63.	1969	0,250	0,04	857	86
64.	1969	0,258		1362	132
65.	1969	0,258		840	82
66.	1970	0,252		175	17
67.	1970	0,255		396	39

Příloha 8.1: Zastoupení hořčíku ve vlasech - pokračování

vzorek	rok narození	m (g)	mez detekce	c ($\mu\text{g.l}^{-1}$)	c ($\mu\text{g.g}^{-1}$)
68.	1970	0,262	0,12	179	17
69.	1971	0,252		192	19
70.	1971	0,252		102	10
71.	1972	0,248		451	45
72.	1973	0,167		96	14
73.	1973	0,255	0,07	507	50
74.	1973	0,253		1853	183
75.	1974	0,255		406	40
76.	1974	0,253		134	13
77.	1975	0,253		138	14
78.	1975	0,253	0,11	146	14
79.	1976	0,273		1251	114
80.	1976	0,251		608	61
81.	1977	0,251		232	23
82.	1977	0,250		151	15
83.	1978	0,247	0,22	684	69
84.	1978	0,246		131	13
85.	1979	0,247		175	178
86.	1979	0,258		143	14
87.	1979	0,259		75	7
88.	1979	0,249	0,14	379	38
89.	1980	0,268		235	22
90.	1981	0,244		110	11
91.	1981	0,251		190	19
92.	1983	0,228		116	13
93.	1984	0,241	0,17	447	46
94.	1984	0,260		641	62
95.	1985	0,187		83	11
96.	1986	0,253		522	52
97.	1989	0,249		107	11
98.	1990	0,255	0,11	378	37
99.	1990	0,262		226	22
100.	1991	0,259		151	15

Příloha 8.2: Zastoupení draslíku ve vlasech

vzorek	rok narození	m (g)	mez detekce	c ($\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$)	c ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)
1.	1936	0,251	18,63	1317	131
2.	1936	0,250		900	90
3.	1937	0,250		1333	133
4.	1937	0,251		2023	202
5.	1939	0,252		1662	165
6.	1940	0,252	18,70	1185	118
7.	1942	0,252	16,08	273	27
8.	1942	0,204	64,00	357	44
9.	1944	0,248	18,70	283	29
10.	1946	0,187		388	52
11.	1946	0,250		66	7
12.	1946	0,251		9	0,9
13.	1946	0,248	20,62	140	14
14.	1947	0,249		476	48
15.	1947	0,256		99	10
16.	1950	0,252		40	4
17.	1950	0,252		3474	345
18.	1951	0,199	16,08	3009	379
19.	1951	0,254		267	26
20.	1952	0,250		299	30
21.	1952	0,251		6173	615
22.	1952	0,257	44,38	741	72
23.	1953	0,249		6014	605
24.	1953	0,253		709	70
25.	1954	0,254		35	3
26.	1954	0,254		2252	221
27.	1954	0,251	0,10	2034	203
28.	1955	0,253		3220	319
29.	1955	0,253		582	57
30.	1955	0,253		3562	352
31.	1955	0,252		176	17

Příloha 8.2: Zastoupení draslíku ve vlasech - pokračování

vzorek	rok narození	m (g)	mez detekce	c ($\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$)	c ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)
32.	1956	0,254	0,37	163	16
33.	1957	0,254		615	60,63264
34.	1957	0,254		521	51,3106
35.	1957	0,201	64,00	124	15
36.	1958	0,248	0,37	275	28
37.	1958	0,249		187	19
38.	1958	0,252	0,23	137	14
39.	1959	0,185		9320	1261
40.	1959	0,256		1046	102
41.	1960	0,252		207	21
42.	1960	0,252		3393	337
43.	1961	0,255	4,60	386	38
44.	1963	0,244		102	10
45.	1963	0,255		209	21
46.	1963	0,254		1518	149
47.	1963	0,249		98	10
48.	1963	0,253	0,04	1026	101
49.	1963	0,255		157	15
50.	1964	0,255		331	32
51.	1965	0,255		254	25
52.	1965	0,255		2503	245
53.	1966	0,095	1,41	1289	341
54.	1966	0,250		565	57
55.	1966	0,247		2173	220
56.	1966	0,256		595	58
57.	1967	0,252		287	28
58.	1967	0,253	0,15	495	49
59.	1968	0,253		1857	184
60.	1968	0,255		421	41
61.	1968	0,253		939	93
62.	1968	0,251		2083	207
63.	1969	0,250	39,78	617	62
64.	1969	0,258		4907	476
65.	1969	0,258		732	71
66.	1970	0,252		656	65
67.	1970	0,255		2800	275

Příloha 8.2: Zastoupení draslíku ve vlasech - pokračování

vzorek	rok narození	m (g)	mez detekce	c ($\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$)	c ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)
68.	1970	0,262	0,37	2119	202
69.	1971	0,252		149	15
70.	1971	0,252		706	70
71.	1972	0,248		949	96
72.	1973	0,167		1120	168
73.	1973	0,255	0,31	3014	295
74.	1973	0,253		332	33
75.	1974	0,255		840	82
76.	1974	0,253		176	17
77.	1975	0,253		281	28
78.	1975	0,253	0,97	1533	151
79.	1976	0,273		1530	140
80.	1976	0,251		888	88
81.	1977	0,251		11480	1144
82.	1977	0,250		224	22
83.	1978	0,247	3,61	439	44
84.	1978	0,246		218	22
85.	1979	0,247		107	11
86.	1979	0,258		7186	696
87.	1979	0,259		7834	756
88.	1979	0,249	2,93	749	75
89.	1980	0,268		145	14
90.	1981	0,244		889	91
91.	1981	0,251		25	3
92.	1983	0,228		424	46
93.	1984	0,241	0,83	340	35
94.	1984	0,260		1427	137
95.	1985	0,187		672	90
96.	1986	0,253		2917	289
97.	1989	0,249		10100	1016
98.	1990	0,255	0,73	3209	315
99.	1990	0,262		391	37
100.	1991	0,259		1791	173

Příloha 8.3: Zastoupení železa ve vlasech

vzorek	rok narození	m (g)	mez detekce	c ($\mu\text{g.l}^{-1}$)	c ($\mu\text{g.g}^{-1}$)
1.	1936	0,251	85,44	* < MD	< MD
2.	1936	0,250		< MD	< MD
3.	1937	0,250		< MD	< MD
4.	1937	0,251		< MD	< MD
5.	1939	0,252		141	14
6.	1940	0,252	0,12	113	11
7.	1942	0,252	0,45	97	10
8.	1942	0,204	12,79	216	27
9.	1944	0,248	0,12	115	12
10.	1946	0,187		69	9
11.	1946	0,250		78	8
12.	1946	0,251		101	10
13.	1946	0,248	0,01	73	7
14.	1947	0,249		212	21
15.	1947	0,256		119	12
16.	1950	0,252		128	13
17.	1950	0,252		227	23
18.	1951	0,199	0,45	503	63
19.	1951	0,254		121	12
20.	1952	0,250		64	6
21.	1952	0,251		488	49
22.	1952	0,257	21,98	128	13
23.	1953	0,249		789	79
24.	1953	0,253		106	10
25.	1954	0,254		205	20
26.	1954	0,254		232	23
27.	1954	0,251	2,11	62	6
28.	1955	0,253		87	9
29.	1955	0,253		163	16
30.	1955	0,253		149	15
31.	1955	0,252		167	17

* < MD = hodnota koncentrace je nižší než mez detekce.

Příloha 8.3: Zastoupení železa ve vlasech - pokračování

vzorek	rok narození	m (g)	mez detekce	c ($\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$)	c ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)
32.	1956	0,254	1,45	295	29
33.	1957	0,254		145	14
34.	1957	0,254		112	11
35.	1957	0,201	12,79	30	4
36.	1958	0,248	1,45	81	8
37.	1958	0,249		22	2
38.	1958	0,252	2,15	105	10
39.	1959	0,185		377	51
40.	1959	0,256		112	11
41.	1960	0,252		115	11
42.	1960	0,252		115	11
43.	1961	0,255	3,37	58	6
44.	1963	0,244		34	3
45.	1963	0,255		53	5
46.	1963	0,254		105	10
47.	1963	0,249		134	13
48.	1963	0,253	0,15	174	17
49.	1963	0,255		228	22
50.	1964	0,255		261	26
51.	1965	0,255		193	19
52.	1965	0,255		252	25
53.	1966	0,095	0,63	80	21
54.	1966	0,250		308	31
55.	1966	0,247		148	15
56.	1966	0,256		216	21
57.	1967	0,252		171	17
58.	1967	0,253	3,08	319	31
59.	1968	0,253		589	58
60.	1968	0,255		162	16
61.	1968	0,253		84	8
62.	1968	0,251		191	19
63.	1969	0,250	1,04	1101	110
64.	1969	0,258		327	32
65.	1969	0,258		862	84
66.	1970	0,252		105	10
67.	1970	0,255		219	22

Příloha 8.3: Zastoupení železa ve vlasech - pokračování .

vzorek	rok narození	m (g)	mez detekce	c ($\mu\text{g.l}^{-1}$)	c ($\mu\text{g.g}^{-1}$)
68.	1970	0,262	0,57	171	16
69.	1971	0,252		97	10
70.	1971	0,252		102	10
71.	1972	0,248		732	74
72.	1973	0,167		48	7
73.	1973	0,255	0,30	417	41
74.	1973	0,253		1131	112
75.	1974	0,255		283	28
76.	1974	0,253		191	19
77.	1975	0,253		138	14
78.	1975	0,253	2,41	74	7
79.	1976	0,273		167	15
80.	1976	0,251		97	10
81.	1977	0,251		136	14
82.	1977	0,250		77	8
83.	1978	0,247	2,56	261	26
84.	1978	0,246		56	6
85.	1979	0,247		45	5
86.	1979	0,258		117	11
87.	1979	0,259		57	6
88.	1979	0,249	2,83	158	16
89.	1980	0,268		63	6
90.	1981	0,244		49	5
91.	1981	0,251		38	4
92.	1983	0,228		62	7
93.	1984	0,241	3,86	42	4
94.	1984	0,260		60	6
95.	1985	0,187		71	9
96.	1986	0,253		79	8
97.	1989	0,249		116	12
98.	1990	0,255	0,47	61	6
99.	1990	0,262		43	4
100.	1991	0,259		161	16

Příloha 8.4: Zastoupení zinku ve vlasech

vzorek	rok narození	m (g)	mez detekce	c ($\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$)	c ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)
1.	1936	0,251	114,36	* < MD	< MD
2.	1936	0,250		341	34
3.	1937	0,250		< MD	< MD
4.	1937	0,251		< MD	< MD
5.	1939	0,252		< MD	< MD
6.	1940	0,252	0,08	261	26
7.	1942	0,252	0,07	404	40
8.	1942	0,204	112,29	566	69
9.	1944	0,248	0,08	167	17
10.	1946	0,187		172	23
11.	1946	0,250		153	15
12.	1946	0,251		204	20
13.	1946	0,248	0,11	268	27
14.	1947	0,249		199	20
15.	1947	0,256		235	23
16.	1950	0,252		280	28
17.	1950	0,252	0,07	213	21
18.	1951	0,199		282	36
19.	1951	0,254		436	43
20.	1952	0,250		308	31
21.	1952	0,251	2,11	282	28
22.	1952	0,257		451	44
23.	1953	0,249		332	33
24.	1953	0,253		287	28
25.	1954	0,254		910	90
26.	1954	0,254	0,07	218	21
27.	1954	0,251		220	22
28.	1955	0,253		93	9
29.	1955	0,253		124	12
30.	1955	0,253		241	24
31.	1955	0,252		163	16

* < MD = hodnota koncentrace je nižší než mez detekce.

Příloha 8.4: Zastoupení zinku ve vlasech - pokračování

vzorek	rok narození	m (g)	mez detekce	c ($\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$)	c ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)
32.	1956	0,254	0,02	301	30
33.	1957	0,254		222	22
34.	1957	0,254		162	16
35.	1957	0,201	112,29	117	15
36.	1958	0,248	0,02	232	23
37.	1958	0,249		256	26
38.	1958	0,252	0,04	243	24
39.	1959	0,185		28	4
40.	1959	0,256		264	26
41.	1960	0,252		220	22
42.	1960	0,252		152	15
43.	1961	0,255	0,14	153	15
44.	1963	0,244		306	31
45.	1963	0,255		204	20
46.	1963	0,254		203	20
47.	1963	0,249		266	27
48.	1963	0,253	0,08	416	41
49.	1963	0,255		389	38
50.	1964	0,255		567	56
51.	1965	0,255		401	39
52.	1965	0,255		1593	156
53.	1966	0,095	0,09	86	23
54.	1966	0,250		392	39
55.	1966	0,247		352	36
56.	1966	0,256		481	47
57.	1967	0,252		406	40
58.	1967	0,253	0,07	596	59
59.	1968	0,253		436	43
60.	1968	0,255		405	40
61.	1968	0,253		426	42
62.	1968	0,251		474	47
63.	1969	0,250	0,04	316	32
64.	1969	0,258		327	32
65.	1969	0,258		318	31
66.	1970	0,252		344	34
67.	1970	0,255		413	41

Příloha 8.4: Zastoupení zinku ve vlasech - pokračování

vzorek	rok narození	m (g)	mez detekce	c ($\mu\text{g.l}^{-1}$)	c ($\mu\text{g.g}^{-1}$)
68.	1970	0,262	0,07	327	31
69.	1971	0,252		398	39
70.	1971	0,252		332	33
71.	1972	0,248		462	47
72.	1973	0,167		184	28
73.	1973	0,255	0,04	673	66
74.	1973	0,253		320	32
75.	1974	0,255		629	62
76.	1974	0,253		425	42
77.	1975	0,253		486	48
78.	1975	0,253	0,71	383	38
79.	1976	0,273		403	37
80.	1976	0,251		347	34
81.	1977	0,251		205	20
82.	1977	0,250		324	32
83.	1978	0,247	0,18	284	29
84.	1978	0,246		392	40
85.	1979	0,247		307	31
86.	1979	0,258		263	25
87.	1979	0,259		291	28
88.	1979	0,249	0,34	402	40
89.	1980	0,268		433	40
90.	1981	0,244		308	32
91.	1981	0,251		373	37
92.	1983	0,228		332	36
93.	1984	0,241	0,72	310	32
94.	1984	0,260		382	37
95.	1985	0,187		206	27
96.	1986	0,253		298	30
97.	1989	0,249		313	31
98.	1990	0,255	0,12	236	23
99.	1990	0,262		438	42
100.	1991	0,259		373	36

Příloha 8.5: Zastoupení manganu ve vlasech

vzorek	rok narození	m (g)	mez detekce	c ($\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$)	c ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)
1.	1936	0,251	13,62	* < MD	< MD
2.	1936	0,250		< MD	< MD
3.	1937	0,250		< MD	< MD
4.	1937	0,251		< MD	< MD
5.	1939	0,252		< MD	< MD
6.	1940	0,252	0,02	5,0	0,50
7.	1942	0,252	0,02	1,0	0,10
8.	1942	0,204	1,96	29,0	3,50
9.	1944	0,248	0,02	3,0	0,30
10.	1946	0,187		1,0	0,20
11.	1946	0,250		1,0	0,10
12.	1946	0,251		6,0	0,60
13.	1946	0,248	0,03	1,0	0,10
14.	1947	0,249		17,0	1,70
15.	1947	0,256		19,0	1,80
16.	1950	0,252		4,0	0,40
17.	1950	0,252		9,0	0,90
18.	1951	0,199	0,02	13,0	1,60
19.	1951	0,254		1,0	0,10
20.	1952	0,250		1,0	0,10
21.	1952	0,251		8,0	0,80
22.	1952	0,257	0,04	2,0	0,20
23.	1953	0,249		14,0	1,40
24.	1953	0,253		2,0	0,20
25.	1954	0,254		2,0	0,20
26.	1954	0,254		16,0	1,60
27.	1954	0,251	0,02	4,0	0,40
28.	1955	0,253		5,0	0,50
29.	1955	0,253		7,0	0,70
30.	1955	0,253		10,0	1,00
31.	1955	0,252		9,0	0,80

* < MD = hodnota koncentrace je nižší než mez detekce.

Příloha 8.5: Zastoupení manganu ve vlasech - pokračování

vzorek	rok narození	m (g)	mez detekce	c ($\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$)	c ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)
32.	1956	0,254	0,01	11,0	1,10
33.	1957	0,254		3,0	0,30
34.	1957	0,254		12,0	1,20
35.	1957	0,201	1,96	6,0	0,80
36.	1958	0,248	0,01	3,0	0,30
37.	1958	0,249		3,0	0,30
38.	1958	0,252	0,02	5,0	0,50
39.	1959	0,185		5,0	0,70
40.	1959	0,256		10,0	1,00
41.	1960	0,252		2,0	0,20
42.	1960	0,252		5,0	0,50
43.	1961	0,255	0,04	6,0	0,60
44.	1963	0,244		7,0	0,70
45.	1963	0,255		17,0	1,60
46.	1963	0,254		6,0	0,60
47.	1963	0,249		2,0	0,20
48.	1963	0,253	0,03	4,0	0,40
49.	1963	0,255		2,0	0,20
50.	1964	0,255		3,0	0,20
51.	1965	0,255		2,0	0,20
52.	1965	0,255		4,0	0,30
53.	1966	0,095	0,01	1,0	0,30
54.	1966	0,250		8,0	0,90
55.	1966	0,247		3,0	0,30
56.	1966	0,256		4,0	0,40
57.	1967	0,252		2,0	0,10
58.	1967	0,253	0,01	4,0	0,40
59.	1968	0,253		7,0	0,70
60.	1968	0,255		2,0	0,20
61.	1968	0,253		2,0	0,20
62.	1968	0,251		4,0	0,40
63.	1969	0,250	0,01	14,0	1,40
64.	1969	0,258		6,0	0,60
65.	1969	0,258		11,0	1,00
66.	1970	0,252		2,0	0,20
67.	1970	0,255		6,0	0,60

Příloha 8.5: Zastoupení manganu ve vlasech - pokračování

vzorek	rok narození	m (g)	mez detekce	c (µg.l ⁻¹)	c (µg.g ⁻¹)
68.	1970	0,262	0,01	1,8	0,20
69.	1971	0,252		1,0	0,10
70.	1971	0,252		1,5	0,20
71.	1972	0,248		17,8	1,80
72.	1973	0,167		1,8	0,30
73.	1973	0,255	0,01	16,0	1,60
74.	1973	0,253		8,0	0,80
75.	1974	0,255		2,0	0,20
76.	1974	0,253		0,6	0,10
77.	1975	0,253		0,9	0,10
78.	1975	0,253	0,02	5,0	0,50
79.	1976	0,273		11,0	1,00
80.	1976	0,251		2,0	0,20
81.	1977	0,251		4,0	0,40
82.	1977	0,250		3,5	0,40
83.	1978	0,247	0,01	11,0	1,10
84.	1978	0,246		0,8	0,10
85.	1979	0,247		1,0	0,10
86.	1979	0,258		9,5	0,90
87.	1979	0,259		1,0	0,10
88.	1979	0,249	0,03	5,0	0,50
89.	1980	0,268		0,4	0,04
90.	1981	0,244		1,0	0,10
91.	1981	0,251		2,0	0,20
92.	1983	0,228		1,0	0,10
93.	1984	0,241	0,02	18,0	1,90
94.	1984	0,260		4,0	0,40
95.	1985	0,187		3,0	0,30
96.	1986	0,253		5,0	0,50
97.	1989	0,249		3,0	0,30
98.	1990	0,255	0,01	4,0	0,40
99.	1990	0,262		1,0	0,10
100.	1991	0,259		4,0	0,40

Příloha 8.6: Zastoupení selenu ve vlasech

vzorek	rok narození	m (g)	mez detekce	c ($\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$)	c ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)
1.	1936	0,251	0,17	0,2	0,02
2.	1936	0,250		1,3	0,13
3.	1937	0,250		9,8	0,98
4.	1937	0,251		0,2	0,02
5.	1939	0,252		0,3	0,03
6.	1940	0,252	0,05	0,9	0,09
7.	1942	0,252	0,04	4,7	0,47
8.	1942	0,204	0,24	1,0	0,12
9.	1944	0,248	0,05	0,8	0,08
10.	1946	0,187		0,4	0,05
11.	1946	0,250		0,5	0,05
12.	1946	0,251		0,4	0,04
13.	1946	0,248	0,05	1,0	0,10
14.	1947	0,249		0,4	0,04
15.	1947	0,256		0,2	0,02
16.	1950	0,252		0,5	0,05
17.	1950	0,252		1,5	0,15
18.	1951	0,199	0,04	1,2	0,15
19.	1951	0,254		1,2	0,12
20.	1952	0,250		0,8	0,08
21.	1952	0,251		0,9	0,09
22.	1952	0,257	0,38	1,0	0,10
23.	1953	0,249		2,5	0,25
24.	1953	0,253		1,0	0,10
25.	1954	0,254		0,7	0,07
26.	1954	0,254		0,4	0,04
27.	1954	0,251	0,17	3,4	0,33
28.	1955	0,253		* < MD	< MD
29.	1955	0,253		< MD	< MD
30.	1955	0,253		< MD	< MD
31.	1955	0,252		< MD	< MD

* < MD = hodnota koncentrace je nižší než mez detekce.

Příloha 8.6: Zastoupení selenu ve vlasech - pokračování

vzorek	rok narození	m (g)	mez detekce	c (µg.l ⁻¹)	c (µg.g ⁻¹)
32.	1956	0,254	0,19	< MD	< MD
33.	1957	0,254		< MD	< MD
34.	1957	0,254		< MD	< MD
35.	1957	0,201	0,24	118,1	14,69
36.	1958	0,248	0,19	< MD	< MD
37.	1958	0,249		< MD	< MD
38.	1958	0,252	0,12	< MD	< MD
39.	1959	0,185		< MD	< MD
40.	1959	0,256		0,3	0,03
41.	1960	0,252		< MD	< MD
42.	1960	0,252		10,5	1,04
43.	1961	0,255	0,15	< MD	< MD
44.	1963	0,244		0,9	0,09
45.	1963	0,255		< MD	< MD
46.	1963	0,254		< MD	< MD
47.	1963	0,249		0,2	0,02
48.	1963	0,253	0,02	0,9	0,09
49.	1963	0,255		1,1	0,11
50.	1964	0,255		32,5	3,18
51.	1965	0,255		1,0	0,10
52.	1965	0,255		1,5	0,14
53.	1966	0,095	0,19	0,3	0,07
54.	1966	0,250		0,8	0,08
55.	1966	0,247		16,0	1,62
56.	1966	0,256		1,5	0,15
57.	1967	0,252		1,1	0,11
58.	1967	0,253	0,12	129,7	12,79
59.	1968	0,253		1,0	0,10
60.	1968	0,255		53,9	5,29
61.	1968	0,253		0,9	0,09
62.	1968	0,251		1,0	0,10
63.	1969	0,250	0,10	298,3	29,88
64.	1969	0,258		1,4	0,13
65.	1969	0,258		0,6	0,06
66.	1970	0,252		1,1	0,11
67.	1970	0,255		4,5	0,44

* < MD = hodnota koncentrace je nižší než mez detekce.

Příloha 8.6: Zastoupení selenu ve vlasech - pokračování

vzorek	rok narození	m (g)	mez detekce	c ($\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$)	c ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)
68.	1970	0,262	0,14	1,3	0,13
69.	1971	0,252		1,1	0,11
70.	1971	0,252		69,9	6,94
71.	1972	0,248		1,3	0,13
72.	1973	0,167		36,8	5,51
73.	1973	0,255	0,03	1,1	0,11
74.	1973	0,253		0,4	0,04
75.	1974	0,255		2,0	0,20
76.	1974	0,253		1,0	0,10
77.	1975	0,253		0,9	0,09
78.	1975	0,253	0,17	76,5	7,55
79.	1976	0,273		< MD	< MD
80.	1976	0,251		< MD	< MD
81.	1977	0,251		< MD	< MD
82.	1977	0,250		< MD	< MD
83.	1978	0,247	0,14	< MD	< MD
84.	1978	0,246		< MD	< MD
85.	1979	0,247		< MD	< MD
86.	1979	0,258		< MD	< MD
87.	1979	0,259		< MD	< MD
88.	1979	0,249	0,17	< MD	< MD
89.	1980	0,268		12,9	1,20
90.	1981	0,244		< MD	< MD
91.	1981	0,251		< MD	< MD
92.	1983	0,228		< MD	< MD
93.	1984	0,241	0,24	< MD	< MD
94.	1984	0,260		< MD	< MD
95.	1985	0,187		< MD	< MD
96.	1986	0,253		< MD	< MD
97.	1989	0,249		< MD	< MD
98.	1990	0,255	0,20	< MD	< MD
99.	1990	0,262		< MD	< MD
100.	1991	0,259		< MD	< MD

* < MD = hodnota koncentrace je nižší než mez detekce.

Příloha 8.7: Zastoupení arsenu ve vlasech- pokračování

vzorek	rok narození	m (g)	mez detekce	c ($\mu\text{g.l}^{-1}$)	c ($\mu\text{g.g}^{-1}$)
1.	1936	0,251	0,02	0,08	0,008
2.	1936	0,250		8,63	0,863
3.	1937	0,250		0,52	0,052
4.	1937	0,251		0,02	0,002
5.	1939	0,252		0,12	0,012
6.	1940	0,252	0,01	0,03	0,003
7.	1942	0,252	0,11	0,23	0,020
8.	1942	0,204	0,08	0,76	0,093
9.	1944	0,248	0,01	0,16	0,016
10.	1946	0,187		0,02	0,003
11.	1946	0,250		0,18	0,020
12.	1946	0,251		0,09	0,010
13.	1946	0,248	0,02	0,15	0,020
14.	1947	0,249		0,08	0,010
15.	1947	0,256		0,16	0,020
16.	1950	0,252		0,06	0,010
17.	1950	0,252		0,33	0,030
18.	1951	0,199	0,11	0,17	0,020
19.	1951	0,254		* < MD	< MD
20.	1952	0,250		< MD	< MD
21.	1952	0,251		0,11	0,010
22.	1952	0,257	0,05	0,09	0,090
23.	1953	0,249		0,31	0,030
24.	1953	0,253		< MD	< MD
25.	1954	0,254		< MD	< MD
26.	1954	0,254		0,28	0,030
27.	1954	0,251	0,01	0,48	0,050
28.	1955	0,253		< MD	< MD
29.	1955	0,253		< MD	< MD
30.	1955	0,253		0,29	0,030
31.	1955	0,252		0,10	0,010

* < MD = hodnota koncentrace je nižší než mez detekce.

Příloha 8.7: Zastoupení arsenu ve vlasech - pokračování

vzorek	rok narození	m (g)	mez detekce	c (µg.l ⁻¹)	c (µg.g ⁻¹)
32.	1956	0,254	0,06	0,14	0,010
33.	1957	0,254		0,06	0,006
34.	1957	0,254		0,07	0,007
35.	1957	0,201	0,08	5,40	0,677
36.	1958	0,248	0,06	< MD	< MD
37.	1958	0,249		< MD	< MD
38.	1958	0,252	0,03	0,16	0,020
39.	1959	0,185		0,30	0,040
40.	1959	0,256		0,27	0,026
41.	1960	0,252		0,10	0,010
42.	1960	0,252		0,72	0,070
43.	1961	0,255	0,03	0,15	0,015
44.	1963	0,244		0,06	0,006
45.	1963	0,255		0,15	0,010
46.	1963	0,254		0,28	0,030
47.	1963	0,249		0,09	0,009
48.	1963	0,253	0,06	< MD	< MD
49.	1963	0,255		< MD	< MD
50.	1964	0,255		1,18	0,120
51.	1965	0,255		< MD	< MD
52.	1965	0,255		< MD	< MD
53.	1966	0,095	0,12	0,23	0,060
54.	1966	0,250		< MD	< MD
55.	1966	0,247		0,35	0,035
56.	1966	0,256		< MD	< MD
57.	1967	0,252		2,28	0,230
58.	1967	0,253	0,08	4,37	0,430
59.	1968	0,253		< MD	< MD
60.	1968	0,255		1,65	0,160
61.	1968	0,253		< MD	< MD
62.	1968	0,251		< MD	< MD
63.	1969	0,250	0,04	11,13	1,110
64.	1969	0,258		< MD	< MD
65.	1969	0,258		< MD	< MD
66.	1970	0,252		< MD	< MD
67.	1970	0,255		< MD	< MD

* < MD = hodnota koncentrace je nižší než mez detekce.

Příloha 8.7: Zastoupení arsenu ve vlasech - pokračování

vzorek	rok narození	m (g)	mez detekce	c ($\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$)	c ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)
68.	1970	0,262	0,06	< MD	< MD
69.	1971	0,252		< MD	< MD
70.	1971	0,252		2,63	0,260
71.	1972	0,248		< MD	< MD
72.	1973	0,167		1,09	0,160
73.	1973	0,255	0,02	< MD	< MD
74.	1973	0,253		< MD	< MD
75.	1974	0,255		< MD	< MD
76.	1974	0,253		< MD	< MD
77.	1975	0,253		< MD	< MD
78.	1975	0,253	0,01	3,04	0,300
79.	1976	0,273		< MD	< MD
80.	1976	0,251		< MD	< MD
81.	1977	0,251		0,08	0,008
82.	1977	0,250		< MD	< MD
83.	1978	0,247	0,12	< MD	< MD
84.	1978	0,246		< MD	< MD
85.	1979	0,247		< MD	< MD
86.	1979	0,258		< MD	< MD
87.	1979	0,259		< MD	< MD
88.	1979	0,249	0,03	< MD	< MD
89.	1980	0,268		0,62	0,060
90.	1981	0,244		< MD	< MD
91.	1981	0,251		0,19	0,018
92.	1983	0,228		< MD	< MD
93.	1984	0,241	0,03	< MD	< MD
94.	1984	0,260		< MD	< MD
95.	1985	0,187		< MD	< MD
96.	1986	0,253		< MD	< MD
97.	1989	0,249		< MD	< MD
98.	1990	0,255	0,07	1,66	0,160
99.	1990	0,262		< MD	< MD
100.	1991	0,259		0,64	0,060

* < MD = hodnota koncentrace je nižší než mez detekce.

Příloha 8.8: Zastoupení kadmia ve vlasech

vzorek	rok narození	m (g)	mez detekce	c (μg.l ⁻¹)	c (μg.g ⁻¹)
1.	1936	0,251	0,070	0,800	0,0800
2.	1936	0,250		0,100	0,0100
3.	1937	0,250		0,400	0,0300
4.	1937	0,251		0,100	0,0100
5.	1939	0,252		0,004	0,0004
6.	1940	0,252	0,020	0,300	0,0300
7.	1942	0,252	0,000	0,300	0,0300
8.	1942	0,204	0,010	4,700	0,5800
9.	1944	0,248	0,020	0,400	0,0400
10.	1946	0,187		0,300	0,0500
11.	1946	0,250		0,300	0,0300
12.	1946	0,251		0,300	0,0300
13.	1946	0,248	0,000	0,100	0,0100
14.	1947	0,249		0,400	0,0400
15.	1947	0,256		0,800	0,0700
16.	1950	0,252		0,500	0,0500
17.	1950	0,252		3,500	0,3500
18.	1951	0,199	0,000	0,500	0,0600
19.	1951	0,254		0,070	0,0060
20.	1952	0,250		1,200	0,1200
21.	1952	0,251		0,700	0,0700
22.	1952	0,257	0,003	0,070	0,0070
23.	1953	0,249		3,900	0,3900
24.	1953	0,253		0,400	0,0400
25.	1954	0,254		0,200	0,0200
26.	1954	0,254		0,300	0,0300
27.	1954	0,251	0,003	0,300	0,0300
28.	1955	0,253		0,300	0,0300
29.	1955	0,253		1,200	0,1200
30.	1955	0,253		1,200	0,1200
31.	1955	0,252		0,300	0,0300

Příloha 8.8: Zastoupení kadmia ve vlasech - pokračování

vzorek	rok narození	m (g)	mez detekce	c ($\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$)	c ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)
32.	1956	0,254	0,000	1,200	0,1100
33.	1957	0,254		0,200	0,0200
34.	1957	0,254		0,300	0,0300
35.	1957	0,201	0,010	0,200	0,0200
36.	1958	0,248	0,000	0,200	0,0200
37.	1958	0,249		0,300	0,0300
38.	1958	0,252	0,003	0,200	0,0200
39.	1959	0,185		0,300	0,0400
40.	1959	0,256		0,300	0,0300
41.	1960	0,252		0,020	0,0020
42.	1960	0,252		0,500	0,0500
43.	1961	0,255	0,000	0,300	0,0300
44.	1963	0,244		0,200	0,0200
45.	1963	0,255		0,400	0,0400
46.	1963	0,254		0,400	0,0400
47.	1963	0,249		0,100	0,0100
48.	1963	0,253	0,003	0,300	0,0300
49.	1963	0,255		0,200	0,0200
50.	1964	0,255		0,200	0,0200
51.	1965	0,255		0,100	0,0100
52.	1965	0,255		0,300	0,0300
53.	1966	0,095	0,007	0,800	0,2200
54.	1966	0,250		0,200	0,0200
55.	1966	0,247		0,060	0,0060
56.	1966	0,256		0,100	0,0100
57.	1967	0,252		0,200	0,0200
58.	1967	0,253	0,000	0,800	0,0800
59.	1968	0,253		0,100	0,0100
60.	1968	0,255		0,100	0,0100
61.	1968	0,253		0,300	0,0300
62.	1968	0,251		0,230	0,0200
63.	1969	0,250	0,003	0,200	0,0200
64.	1969	0,258		0,290	0,0300
65.	1969	0,258		5,680	0,5500
66.	1970	0,252		0,077	0,0070
67.	1970	0,255		0,400	0,0400

Příloha 8.8: Zastoupení kadmia ve vlasech - pokračování

vzorek	rok narození	m (g)	mez detekce	c ($\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$)	c ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)
68.	1970	0,262	0,003	0,800	0,0700
69.	1971	0,252		0,300	0,0300
70.	1971	0,252		0,300	0,0300
71.	1972	0,248		0,300	0,0300
72.	1973	0,167		0,020	0,0020
73.	1973	0,255	0,000	3,200	0,3000
74.	1973	0,253		3,500	0,3500
75.	1974	0,255		0,100	0,0090
76.	1974	0,253		0,020	0,0030
77.	1975	0,253		0,200	0,0200
78.	1975	0,253	0,013	0,200	0,0200
79.	1976	0,273		0,970	0,0900
80.	1976	0,251		0,030	0,0030
81.	1977	0,251		0,980	0,0970
82.	1977	0,250		0,200	0,0190
83.	1978	0,247	0,007	0,600	0,0600
84.	1978	0,246		0,300	0,0300
85.	1979	0,247		0,060	0,0060
86.	1979	0,258		0,300	0,0300
87.	1979	0,259		0,100	0,0100
88.	1979	0,249	0,003	1,300	0,1300
89.	1980	0,268		0,050	0,0040
90.	1981	0,244		0,050	0,0040
91.	1981	0,251		0,070	0,0070
92.	1983	0,228		0,030	0,0030
93.	1984	0,241	0,026	0,070	0,0060
94.	1984	0,260		0,050	0,0050
95.	1985	0,187		0,700	0,0900
96.	1986	0,253		0,600	0,0600
97.	1989	0,249		0,100	0,0100
98.	1990	0,255	0,003	0,200	0,0200
99.	1990	0,262		0,080	0,0080
100.	1991	0,259		0,400	0,0400

Příloha 8.9: Zastoupení olova ve vlasech

vzorek	rok narození	m (g)	mez detekce	c ($\mu\text{g.l}^{-1}$)	c ($\mu\text{g.g}^{-1}$)
1.	1936	0,251	2,620	62,0	6,2
2.	1936	0,250		6,0	0,6
3.	1937	0,250		7,0	0,7
4.	1937	0,251		3,0	0,3
5.	1939	0,252		6,0	0,6
6.	1940	0,252	0,080	17,0	1,7
7.	1942	0,252	0,020	10,0	1,0
8.	1942	0,204	1,350	19,0	2,4
9.	1944	0,248	0,080	71,0	7,2
10.	1946	0,187		0,7	0,1
11.	1946	0,250		9,0	0,9
12.	1946	0,251		22,0	2,2
13.	1946	0,248	0,020	7,0	0,7
14.	1947	0,249		19,0	1,9
15.	1947	0,256		81,0	7,9
16.	1950	0,252		29,0	2,9
17.	1950	0,252		58,0	5,7
18.	1951	0,199	0,020	18,0	2,3
19.	1951	0,254		4,0	0,4
20.	1952	0,250		5,0	0,5
21.	1952	0,251		26,0	2,6
22.	1952	0,257	0,330	2,0	0,2
23.	1953	0,249		62,0	6,2
24.	1953	0,253		28,0	2,8
25.	1954	0,254		2,0	0,2
26.	1954	0,254		27,0	2,6
27.	1954	0,251	0,020	14,0	1,4
28.	1955	0,253		79,0	7,8
29.	1955	0,253		43,0	4,3
30.	1955	0,253		31,0	3,0
31.	1955	0,252		15,0	1,5

Příloha 8.9: Zastoupení olova ve vlasech - pokračování

vzorek	rok narození	m (g)	Mez detekce	c (µg.l ⁻¹)	c (µg.g ⁻¹)
32.	1956	0,254	0,007	12,0	1,2
33.	1957	0,254		15,0	1,5
34.	1957	0,254		15,0	1,5
35.	1957	0,201	1,350	10,0	1,3
36.	1958	0,248	0,007	7,0	0,7
37.	1958	0,249		37,0	3,7
38.	1958	0,252	0,030	8,0	0,8
39.	1959	0,185		33,0	4,4
40.	1959	0,256		15,0	1,5
41.	1960	0,252		2,0	0,2
42.	1960	0,252		11,0	1,1
43.	1961	0,255	0,040	21,0	2,1
44.	1963	0,244		17,0	1,8
45.	1963	0,255		13,0	1,3
46.	1963	0,254		21,0	2,1
47.	1963	0,249		7,0	0,7
48.	1963	0,253	0,003	9,0	0,9
49.	1963	0,255		6,0	0,6
50.	1964	0,255		8,0	0,8
51.	1965	0,255		7,0	0,6
52.	1965	0,255		11,0	1,1
53.	1966	0,095	0,023	11,0	2,9
54.	1966	0,250		6,0	0,6
55.	1966	0,247		2,0	0,2
56.	1966	0,256		32,0	3,1
57.	1967	0,252		20,0	2,0
58.	1967	0,253	0,010	15,0	1,5
59.	1968	0,253		6,0	0,6
60.	1968	0,255		2,0	0,2
61.	1968	0,253		8,0	0,8
62.	1968	0,251		17,0	1,7
63.	1969	0,250	0,010	12,0	1,2
64.	1969	0,258		7,0	0,7
65.	1969	0,258		5,0	0,5
66.	1970	0,252		6,0	0,6
67.	1970	0,255		5,0	0,5

Příloha 8.9: Zastoupení olova ve vlasech - pokračování

vzorek	rok narození	m (g)	mez detekce	c (µg.l ⁻¹)	c (µg.g ⁻¹)
68.	1970	0,262	0,013	4,0	0,3
69.	1971	0,252		9,0	0,9
70.	1971	0,252		8,0	0,7
71.	1972	0,248		6,0	0,6
72.	1973	0,167		2,0	0,2
73.	1973	0,255	0,007	41,0	4,0
74.	1973	0,253		1,0	0,1
75.	1974	0,255		6,0	0,6
76.	1974	0,253		5,0	0,5
77.	1975	0,253		2,0	0,2
78.	1975	0,253	0,010	6,0	0,6
79.	1976	0,273		6,0	0,5
80.	1976	0,251		3,0	0,3
81.	1977	0,251		16,0	1,6
82.	1977	0,250		5,0	0,5
83.	1978	0,247	0,007	8,0	0,8
84.	1978	0,246		3,0	0,3
85.	1979	0,247		7,0	0,7
86.	1979	0,258		19,0	1,8
87.	1979	0,259		6,0	0,6
88.	1979	0,249	0,016	18,0	1,8
89.	1980	0,268		2,0	0,2
90.	1981	0,244		1,0	0,1
91.	1981	0,251		3,0	0,3
92.	1983	0,228		1,0	0,1
93.	1984	0,241	0,016	2,0	0,2
94.	1984	0,260		3,0	0,3
95.	1985	0,187		6,0	0,8
96.	1986	0,253		9,0	0,9
97.	1989	0,249		9,0	0,9
98.	1990	0,255	0,003	3,0	0,3
99.	1990	0,262		2,0	0,2
100.	1991	0,259		15,0	1,5